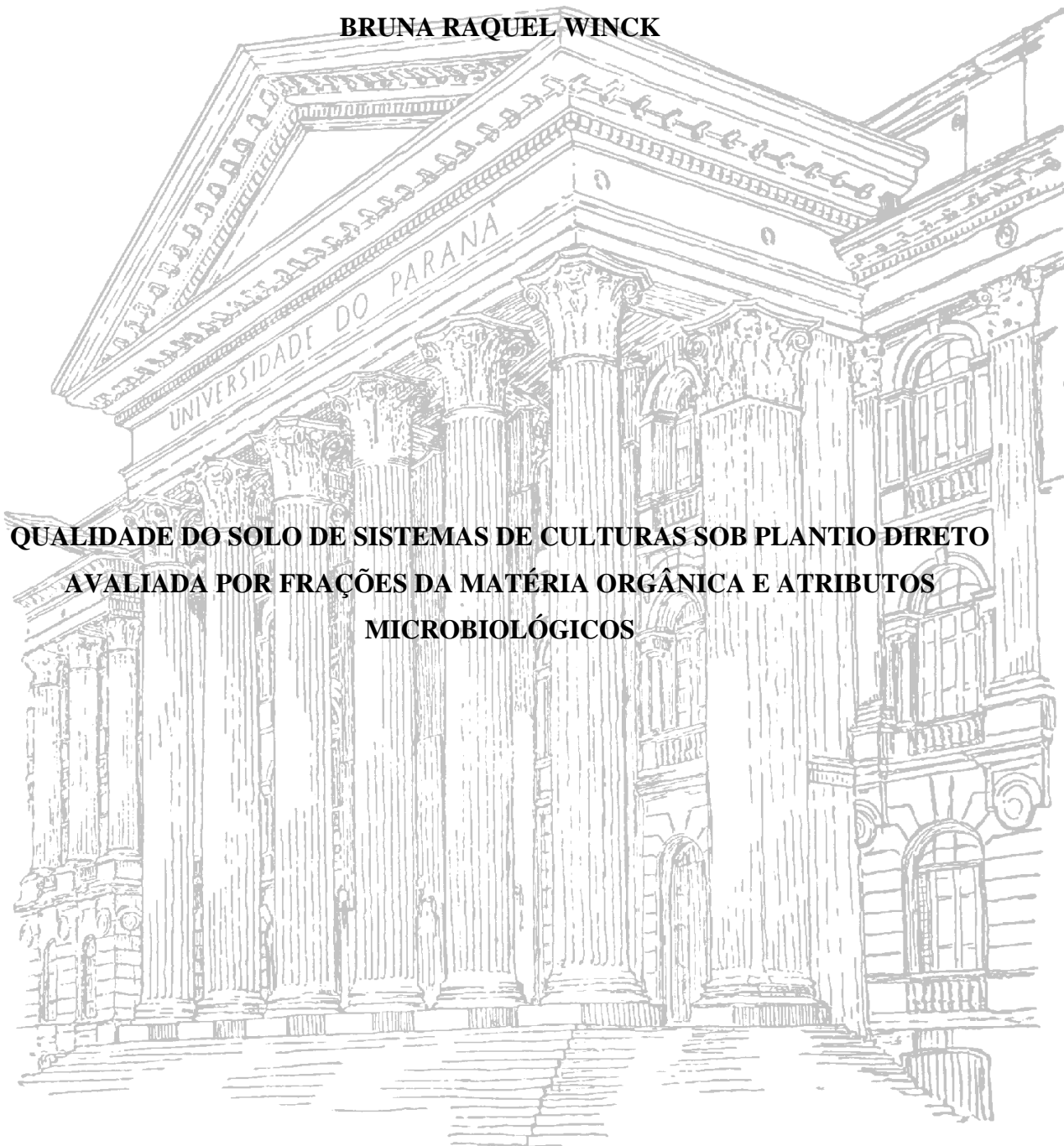


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNA RAQUEL WINCK**

**QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO  
AVALIADA POR FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS  
MICROBIOLÓGICOS**



**CURITIBA**

**2012**

**BRUNA RAQUEL WINCK**

**QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO  
AVALIADA POR FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS  
MICROBIOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

**CURITIBA**

**2012**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIA DO SOLO

## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **BRUNA RAQUEL WINCK**, sob o título: **"Qualidade do solo de sistemas de culturas sob plantio direto avaliada por frações da matéria orgânica e atributos microbiológicos"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Solo e Ambiente"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 03 de fevereiro de 2012.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani. Presidente

Eng<sup>o</sup>. Agr<sup>o</sup>. Dr. Luciano Kayser Vargas, I<sup>o</sup>. Examinador

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, II<sup>o</sup>. Examinador

Prof. Dr. Renato Marques, III<sup>o</sup>. Examinador

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Ana Winck e José Francisco da Silva, por todo o incentivo e apoio para que eu pudesse seguir minha vida acadêmica e, acima de tudo, pelo grande amor, carinho e confiança, capaz de suportar inclusive a distância física para que eu siga minha caminhada.

Aos meus irmãos, Maximiliano Winck e Raphel Francisco Winck da Silva, pelo amor e carinho que, sempre de alguma forma, esteve presente entre nós.

Ao meu esposo, Daniel Hanke, meu companheiro e meu porto seguro em todos os momentos felizes e tristes, a cada dia que se passa, e a cada dia que se passará.

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus, a maior razão de nossa existência, por me dar cada dia de vida. E a cada dia, por me dar força e vontade para continuar, mesmo nos momentos em que eu pensava em desistir.

A minha família, em especial meus pais, Ana e José e meus sogros, Mauro e Célia, pelo suporte, força e incentivo.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Fabiane Machado Vezzani, primeiramente por ter me dado força ainda antes de ingressar no mestrado. Além disto, pela amizade, apoio, compreensão, paciência e confiança neste período em que trabalhamos juntas. E por fim, pelo apoio na escrita e organização estrutural e intelectual desta dissertação.

Aos meus co-orientadores, Jeferson Dieckow e Nerilde Favaretto, fundamentais em esclarecimento de dúvidas e na condução de grande parte desta dissertação.

A Fundação ABC de Ponta Grossa/PR e ao seu grupo de pesquisadores e trabalhadores, pela concessão da área experimental para a realização desta pesquisa.

Ao bolsista de iniciação científica Daniel de Oliveira, pela ajuda na condução das análises de laboratórios e coleta de solos.

Aos laboratoristas Elda, Cleuza, Odair, Roberto e Maria, pela ajuda e esclarecimentos de dúvidas me foram essenciais para a melhor execução deste estudo. E aos secretários Gerson, Juliane e Marla, que em diversos momentos me auxiliaram e me esclareceram em dúvidas, ainda mais em questões estruturais e burocráticas.

Aos meus amigos de mestrado que diretamente colaboraram para a realização deste trabalho, Marcio de Amaral Alburquerque, André Sordi, Maurício Fabiano Biesek, Francihele Müller. Sem ajuda e apoio de todos vocês, este mestrado não seria nem metade do que foi. E ainda agradeço cada momento que trocamos dúvidas e experiências na escada do departamento.

Aos amigos e colegas do mestrado da turma de 2009, 2010 e 2011, que me ajudaram, mesmo que pontualmente, ao longo destes dois anos de mestrado, especialmente Caroline Silvano, Daniel Carvalho, Jéssica Fernandes Kaseker e Marília Camotti.

Ao meu esposo Daniel Hanke, que me ajudou em todas as coletas e análises de solo e na construção intelectual desta dissertação.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho e a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

“O papel dos infinitamente pequenos é infinitamente grande.”

Louis Pasteur

# QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO AVALIADA POR FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS<sup>1</sup>

Autora: Bruna Raquel Winck

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

## RESUMO GERAL

A matéria orgânica do solo (MOS) é vista pela comunidade científica como o indicador ideal para avaliar e monitorar a qualidade do solo, considerando a sua influência sobre os processos biológicos, físicos e químicos, dando condições para que o solo exerça suas funções no ambiente. Sistemas de culturas em plantio direto com variação no número e na alternância de espécies vegetais na rotação podem alterar a qualidade do solo por afetar os estoques de C e N nos compartimentos físicos da MOS e os atributos microbiológicos do solo. A variação de plantas afeta a qualidade do solo devido alterações na quantidade, qualidade e forma de adição da matéria orgânica. Visando identificar alterações na qualidade do solo em diferentes sistemas de culturas em plantio direto, este estudo foi conduzido em experimento instalado há 21 anos na Estação Experimental da Fundação ABC de Ponta Grossa/PR, sobre Latossolo Vermelho Distrófico típico com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições e seis sistemas de culturas: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, sendo TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* L.); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). Foram determinados os estoques de C e N totais e C e N nas frações > e < 53  $\mu\text{m}$ , nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 cm, em outubro de 2010. Para avaliação de atributos microbiológicos, os teores de C e N da biomassa microbiana, respiração basal do solo e mineralização de C e N da matéria orgânica foram determinados na camada de 0-5 cm, em novembro de 2010 e junho de 2011. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ao teste de médias Tukey a 5% de probabilidade. A qualidade do solo foi superior no sistema AL-MI, pois apresentou o maior estoque de NT (1,64  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e de C e N na fração > 53  $\mu\text{m}$  (6,84 e 0,52  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente), na camada de 0-5 cm, enquanto que o sistema referência TR-SO apresentou 1,33  $\text{Mg ha}^{-1}$  de NT e 5,56 e 0,41  $\text{Mg ha}^{-1}$  de C e N da fração >53  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Isto ocorreu devido à elevada adição de C e N no solo pelo sistema AL-MI, principalmente devido a maior contribuição das raízes. Pela avaliação dos atributos microbiológicos, não houve diferença na qualidade do solo, pois, no geral, os sistemas apresentaram a mesma capacidade de reserva de C e N na biomassa microbiana, com variação de 529,98 a 595,97  $\text{mg kg}^{-1}$  na primavera e de 332,72 a 401,75  $\text{mg kg}^{-1}$  no outono, os mesmos níveis de atividade, com variação de 1,42 a 1,58  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na primavera e de 0,63 a 1,00  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no outono e a mesma eficiência de utilização das fontes de energia e nutrientes do solo com variação de 2,60 a 3,15  $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic h}^{-1}$  na primavera e de 2,01 a 2,78  $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic h}^{-1}$  no outono. Esses resultados justificam-se porque os sistemas apresentam características similares nas condições de ambiente edáfico, como os teores de C e N e as propriedades físicas (umidade,

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (92 p.) Fevereiro, 2012.

densidade e granulometria) e químicas do solo (pH e macronutrientes). Conclui-se que há alteração na qualidade do solo em diferentes sistemas de culturas em plantio direto com variação no número e alternância de plantas na rotação, devido aos diferentes estoques de C e N nos compartimentos físicos da MOS.

**Palavras chave:** matéria orgânica particulada; biomassa microbiana; atividade microbiana; alternância de plantas; adição de carbono e nitrogênio.



# SOIL QUALITY SYSTEMS IN CULTURES TILLAGE EVALUATED BY FRACTIONS OF ORGANIC MATTER AND ATTRIBUTES MICROBIOLOGICAL<sup>2</sup>

Author: Bruna Raquel Winck

Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co- Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co- Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

## GENERAL ABSTRACT

Soil organic matter is viewed by the scientific community as the ideal indicator to assess and monitor soil quality, considering its influence on the biological, physical and chemical providing conditions for the soil environment in exercising its functions. Cropping systems in no-till with a variation in the number and the alternation of plant species in the rotation can change the quality of the soil to affect the stocks of C and N in the compartments physical of the SOM and microbiological soil attributes. The variation plant affects the quality of the soil due to changes in the quantity, quality and form of addition of organic matter in soil. To identify changes in soil quality in different cropping systems in no-till, this study was conducted in an experiment set up 21 years ago at the Experimental Station of the FundaçãoABC of Ponta Grossa/PR on Oxisol typical experiment with a randomized block design with four replications and six cropping systems: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, and: TR: wheat (*Triticum aestivum* L.); SO: soybean (*Glycine max* L.); ER: vetch (*Vicia villosa* Roth); MI: maize (*Zea mays* L.); AV: oats (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfalfa (*Medicago sativa* L.). Were determined the stocks of C and N total and C and N in fractions > and <53  $\mu\text{m}$  at depths of 0-5, 5-10, 10-20 cm in October 2010. To assess attributes of microbiological, the levels of C and N microbial biomass, basal respiration and soil C and N mineralization of organic matter were analyzed in depth of 0-5 cm in November 2010 and June 2011. The results were submitted to ANOVA and when significant, the Tukey mean test at 5% probability. Soil quality was higher in the AL-MI compared to the reference TR-SO, as it showed the largest inventory of NT (1.64  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) and C and N in the fraction > 53 $\mu\text{m}$  (6.84  $\text{Mg}$  and 0.52  $\text{h}^{-1}$ , respectively), at 0-5 cm, while the reference system (TR-SO) showed 1.33  $\text{Mg ha}^{-1}$  and NT 5.56 and 0.41  $\text{Mg ha}^{-1}$  of C and N fraction > 53 $\mu\text{m}$  respectively. This was due to the addition of high C and N in the soil system AL-MI, primarily because major contribution of the roots in this addition. For the evaluation of microbiological attributes, there was no difference in soil quality, for the most part, the systems had the same reserve capacity of C and N in microbial biomass, ranging from 529.98 to 595.97  $\text{mg kg}^{-1}$  in the spring and range from 332.72 to 401.75  $\text{mg kg}^{-1}$  in the fall, the same levels of activity, ranging from 1.42 to 1.58  $\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  in the spring, ranging from 0, 63 to 1.00  $\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  in the fall and the same efficiency of utilization of energy sources and soil nutrients ranging from 2.60 to 3.15  $\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Cmic}$  in the spring and range from 2.01 to 2.78  $\text{mg C Cmic CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  in the fall. These results are justified because the systems have similar characteristics in terms of soil environment, such as C and N contents and physical properties (moisture, density and particle size) and chemical soil properties (pH and nutrients). We conclude, based on data of the stocks of C and N in the soil, there is change in soil quality in different cropping systems under no-tillage with variation in number and the alternation of plants in the rotation, due to different C and N stocks in physical compartments of the SOM.

---

<sup>2</sup> Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (92 p.) February, 2012.

**Keywords:** particulate organic matter; microbial biomass; microbial activity; alternation of plant; addition of carbon and nitrogen.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO II: ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS FÍSICOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO.....7

Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal em Ponta Grossa/ PR, Fundação ABC. Dados fornecidos pelo SIMEPAR.....11

Figura 2. Estoque acumulado (0-20 cm) de carbono orgânico total e nitrogênio total em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....19

Figura 3. Proporções de C e N das frações > e < 53µm no estoque total de C e N em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....20

Figura 4. Regressão entre COT e NT com as frações > e < 53 µm do solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa. ● C e N da fração > 53 µm e ○ C e N da fração < 53µm. ....21

### CAPITULO III: QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO AVALIADA POR INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.....37

Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal em Ponta Grossa / PR, Fundação ABC. Dados fornecidos pelo SIMEPAR, Curitiba/PR. a: coleta de solo - primavera de 2010; b: coleta de solo - outono de 2011. ....43

Figura 2. Análise de componentes principais e correlações entre os atributos de sistemas de culturas em rotação sob plantio direto por 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. (a) Coleta de primavera 2010 e (b) coleta de outono 2011. COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; Cmic: Carbono microbiano; Nmic: nitrogênio microbiano; C/N microbiano: relação C/N da biomassa microbiana; qMIC: quociente microbiano; RBS: respiração da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; PMC30d: potencial de mineralização do carbono; MLN30d: potencial de mineralização do nitrogênio; N mineral: teores de nitrogênio mineral. ....60

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO II: ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS FÍSICOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO.....7

Tabela 1. Identificação e caracterização dos tratamentos (sistemas de culturas), tipo de rotação, resíduo da cultura no momento da coleta e relação gramínea/leguminosa no tempo, em sistema de plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....12

Tabela 2. Análise granulométrica e caracterização mineralógica qualitativa dos minerais da fração argila, na camada de 0-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....13

Tabela 3. Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....13

Tabela 4. Densidade do solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....14

Tabela 5. Teores de C e N totais, C e N da fração > 53 µm e C e N da fração < 53 µm, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....17

Tabela 6. Estoques de C e N totais (COT e NT), C e N da fração > 53 µm (MO particulada), C e N da fração < 53 µm (MO associada aos minerais), relação C/N e proporção das frações > e < 53 µm no estoque total, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e na camada 0-20 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....18

### CAPITULO III: QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO AVALIADA POR INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.....37

Tabela 1. Identificação dos tratamentos (sistemas de culturas), tipo de rotação, resíduo da cultura no momento da coleta e relação gramínea/leguminosa no tempo, em sistema de plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.....42

Tabela 2. Análise granulométrica, na profundidade de 0-20 cm, umidade gravimétrica e densidade do solo, na profundidade de 0-5 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.....42

Tabela 3. Atributos químicos do solo na profundidade de 0-5 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....	42
Tabela 4. Carbono orgânico total, nitrogênio total e indicadores microbiológicos, na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....	47
Tabela 5. Coeficiente de Correlação Simples de Pearson (r) do carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e indicadores microbiológicos em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto por 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. ....	58

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA .....	4
CAPITULO II: ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS FÍSICOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO.....	7
RESUMO .....	7
CHAPTER I: CARBON AND NITROGEN STOCKS IN PHYSICAL COMPORTMENTS SOIL ORGANIC MATTER IN SYSTEMS OF CROP ROTATION UNDER NO-TILLAGE .....	8
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUÇÃO .....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
2.1. Área experimental, Delineamento Experimental e Tratamentos.....	11
2.2. Coleta e preparo das amostras de solo .....	12
2.3. Avaliações .....	13
2.3.1. Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total do Solo .....	13
2.3.2. Carbono e Nitrogênio nas frações > e < 53 µm do solo .....	13
2.3.3. Cálculo de estoque de carbono e nitrogênio no solo .....	14
2.4. Análise Estatística .....	15
3. RESULTADOS.....	15
3.1. Teores de carbono e nitrogênio totais e das frações > e < 53 µm do solo .....	15
3.2. Estoques de C e N totais e das frações > e < 53 µm do solo.....	15
3.3. Proporções de C e N nas frações > e < 53 µm do solo.....	16
3.5. Relação C/N da matéria orgânica total e das frações > e < 53 µm do solo.....	19
4. DISCUSSÃO .....	22
4.1. Estoques de C e N totais e nas frações > e < 53 µm do solo entre as camadas.....	22
4.2. Estoques de C e N totais e nas frações > e < 53 µm do solo entre sistemas .....	22
4.3. Proporções de C e N das frações > e < 53 µm no estoque total do solo .....	27
4.4. Relações entre estoques totais de C e N e estoques de C e N das frações > e < 53µm.....	28
4.5. Relação C/N da matéria orgânica total e das frações > e < 53 µm .....	30
5. CONCLUSÕES .....	31
6. LITERATURA CITADA .....	32
CAPITULO III: QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO AVALIADA POR INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.....	37
RESUMO .....	37

CHAPTER III: SOIL QUALITY IN NO TILL CROP ROTATION SYSTEMS EVALUATED BY MICROBIOLOGICAL INDICATORS .....	38
ABSTRACT .....	38
1. INTRODUÇÃO .....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	41
2.1. Área experimental, Delineamento Experimental e Tratamentos.....	41
2.2. Época de amostragem, coleta e preparo das amostras de solo .....	43
2.3. Avaliações .....	43
2.4. Análise Estatística .....	44
3. RESULTADOS.....	44
3.1. Carbono e nitrogênio total do solo .....	44
3.2. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, relação C/N microbiana e quociente microbiano do solo .....	45
3.3. Atividade microbiana do solo .....	45
3.3.1. Respiração basal do solo e quociente metabólico .....	45
3.3.2. Potencial de mineralização de carbono e mineralização líquida de nitrogênio .....	46
4. DISCUSSÃO .....	48
4.1. Carbono e nitrogênio total do solo .....	48
4.2. Variação dos indicadores microbiológicos entre as épocas de coleta .....	49
4.3. Quantidade e composição da comunidade microbiana e quociente microbiano entre sistemas de culturas .....	51
4.4. Atividade microbiana do solo .....	54
4.4.1. Respiração basal do solo e quociente metabólico .....	54
4.4.2. Potencial de mineralização de C (PMC <sub>30d</sub> ) e mineralização líquida de N (MLN <sub>30d</sub> ) ...	56
4.5. Comportamento dos indicadores microbiológicos e interação com os sistemas de culturas .....	59
5. CONCLUSÕES .....	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
7. LITERATURA CITADA .....	63
CAPITULO IV: CONCLUSÕES GERAIS .....	69
APÊNDICES.....	70

## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL

A rápida degradação dos solos pelos sistemas agrícolas, principalmente nos países tropicais e subtropicais, aumentou a preocupação da comunidade científica pela qualidade do solo, em conjunto com o aumento da produtividade agrícola. Esta preocupação levou Lal & Pierce (1991) a incentivar estudos na busca de sistemas de produção que visem promover a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Neste sentido, a discussão sobre qualidade do solo intensificou-se e diversos conceitos foram sugeridos, onde se destaca a proposta de Doran & Parkin (1994) em que a qualidade do solo está relacionada com a sua funcionalidade dentro de ecossistemas naturais e agrícolas, capazes de manterem a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a saúde animal e vegetal. Estas funcionalidades também foram definidas por Larson & Pierce (1991) e Karlen et al. (1997), que se caracterizam pela capacidade do solo em servir como meio de crescimento às plantas; regular e compartimentalizar os fluxos de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e, funcionar como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente.

Para avaliar e monitorar a qualidade do solo, alguns modelos foram propostos baseados em um conjunto mínimo de atributos químicos, físicos e biológicos que pudessem se relacionar com as funções do solo. Dentre estes indicadores, destacam-se: teores de C e N totais; teores de N mineral, Ca, Mg, K, P; acidez trocável e acidez potencial; capacidade de troca de cátions; granulometria; profundidade efetiva do solo; porosidade; agregados; infiltração e armazenamento de água no solo; biomassa e atividade microbiana; e, fauna edáfica (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994).

No entanto, diversos autores afirmam que a matéria orgânica do solo (MOS) é o atributo ideal para avaliar e monitorar a qualidade do solo de sistemas agrícolas (Bayer et al., 2001; Franzluebbers et al., 2002; Conceição et al., 2005; Shukla et al., 2006). Isto porque a diversidade física e química da MOS possibilita que haja influência direta sobre as propriedades edáficas de ordem biológica, física e química, dando condições ao solo de exercer suas funções no ambiente, além de contribuir significativamente para aumentar a sua resiliência (Baldock & Skjemstad, 2000). Associado a isto, a MOS é um indicador sensível às alterações de manejo do sistema, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Bayer et al., 2001; Conceição et al., 2005; Diekow et al., 2005).

Alguns estudos foram realizados para identificar qual dos compartimentos da MOS sugeridos por Duxbury et al. (1989) responde mais rapidamente às práticas de manejo do solo



e de culturas, principalmente em sistemas de produção de longa duração (Bolinder et al., 1999; Conceição et al., 2005; Diekow et al., 2005; Xavier et al., 2006). O que se observa nestes estudos é que as reduções de C e N no compartimento não protegido da MOS são mais rápidas que as reduções de C e N no compartimento protegido e nos teores totais do solo, indicando que a MOS não protegida é mais sensível às variações do manejo, sendo uma alternativa eficaz para avaliação da qualidade do solo.

O compartimento não protegido da MOS é constituída pela matéria orgânica particulada, composta por todo material orgânico de tamanho  $> 53 \mu\text{m}$  (Duxbury et al., 1989; Conceição et al., 2005; Diekow et al., 2005) e pela biomassa microbiana do solo (Duxbury et al., 1989; Xavier et al., 2006), composta principalmente por fungos e bactérias. A principal função da fração  $> 53 \mu\text{m}$  no solo é servir como fonte de energia e nutrientes aos organismos e às plantas; atuar na formação e estabilização dos agregados e na proporção de macro e microporos; e, aumentar a capacidade de troca de cátions do solo (Duxbury et al., 1989; Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2002).

A fração  $> 53 \mu\text{m}$  consiste numa mistura heterogênea de matéria orgânica de origem vegetal, animal e microbiana (Baldock & Skjemstad, 2000), em diferentes graus de fragmentação e humificação (Diekow et al., 2005). Sua entrada e grandeza no solo são afetadas, principalmente, pela serapilheira e pelas raízes (Feller & Beare, 1997). O tempo médio de residência desta fração no solo é de 2,5 anos (Duxbury et al., 1989) e sua permanência é condicionada pela proteção física no interior dos agregados (Duxbury et al., 1989; Six et al., 2002). Desta forma, práticas de manejo como o preparo do solo; a incorporação, a quantidade e a qualidade dos resíduos orgânicos; a proporção de raízes/parte aérea; a frequência e a duração das culturas no campo são fatores que podem interferir na dinâmica e na magnitude da fração  $> 53 \mu\text{m}$  da MOS (Janzen et al., 1998; Balesdent et al., 2000). Especificamente, em sistemas de plantio direto, onde não há o revolvimento do solo, a maior proporção de matéria orgânica particulada encontra-se na camada superficial, onde sua dinâmica é fortemente influenciada pelo tipo de rotação de culturas e pelas espécies utilizadas (Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011).

A biomassa microbiana, considerada a fração ativa da MOS, representa cerca de 2 a 5 % do carbono orgânico total (Jenkinson & Ladd, 1981) e 1 a 5 % do nitrogênio orgânico total (Smith & Paul, 1990), sendo composta, principalmente, por bactérias e fungos. Seu tempo médio de residência no solo é cerca de 0,25 ano e a sua magnitude é controlada pelo aumento da quantidade e qualidade do material orgânico adicionado, pela temperatura e umidade do ambiente e pela biomassa vegetal viva. As principais funções da biomassa microbiana no solo

são atuar como reservatório e fonte de nutrientes, principalmente de C, N, P e S; transformação bioquímica da MOS e de outros compostos químicos, que possam ser prejudiciais ao ambiente; e, agregação temporária, a partir de hifas de fungos e mucilagens microbianas (Xavier et al., 2006). Outros atributos microbiológicos são sugeridos para serem avaliados juntamente com a biomassa microbiana, onde se destacam a respiração basal do solo e o quociente metabólico, que são atributos associados à atividade e à eficiência na utilização das fontes de energia e nutrientes pela biomassa microbiana do solo; o quociente microbiano, que está relacionado com a qualidade nutricional da MOS; e o potencial de mineralização de C e N no solo, indicador associado ao tamanho e à disponibilidade de frações lábeis da MOS e ao tamanho e à atividade da biomassa microbiana.

Sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema de plantio direto (SPD), são eficientes estratégias para melhorar a qualidade do solo. Isto porque o SPD, que preconiza o não revolvimento do solo associado à rotação de culturas, elevada quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, promove maior estoque de C e N (Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005; Conceição et al., 2005; Santos et al., 2011) e favorece os atributos microbiológicos (Bolinder et al., 1999; Six et al., 2002; Conceição et al., 2005; Xavier et al., 2006), além de diminuir a erosão hídrica (Mori et al., 2009), promover agregação (Six et al., 2002) e melhorar a qualidade da água (Mori et al., 2009) e do ar (Bayer et al., 2001; Diekow et al., 2005).

Além do evidente aumento no estoque de C e N no solo em sistema de cultivo em plantio direto, também se destaca o aumento da formação e estabilização dos agregados (Six et al., 2002), que interfere diretamente nas funções do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Com o aumento da agregação há melhoria da proporção de macro e microporos, que regula e compartimentaliza o fluxo de água no ambiente e regula as trocas gasosas no solo (Silva et al., 2006; Bronick & Lal, 2005); a proteção da MOS contra o ataque microbiano (Six et al., 2002), que promove maior estoque de C e N no solo (Six et al., 2002; 2004; Vezzani & Mielniczuk, 2011); e a sustentação de plantas no solo, devido ao melhor desenvolvimento radicular e a maior capacidade de suprimento de água, ar e nutrientes (Bronick & Lal, 2005).

Entretanto, há necessidade de estudos em torno de diferentes sistemas de culturas em plantio direto com variação no número e na alternância de espécies vegetais em rotação, visando identificar sistemas que potencializem as funções do solo e promovam maior qualidade.

A alternância de plantas é um dos princípios básicos da rotação de culturas, onde se evita a repetição das mesmas espécies vegetais em sucessivos anos agrícolas. O contrário se

caracteriza por uma sucessão, que tem como prática a repetição de culturas em consecutivos anos agrícolas (ex: trigo-soja, sequência de inverno e verão comum no Sul do Brasil). Assim, a alternância de plantas na rotação de culturas tem como propósito aumentar a eficiência do SPD, e para isto, deve-se considerar aspectos relacionados à proporção entre gramíneas e leguminosas; à ordenação das culturas na rotação; utilização de culturas com elevada produção de fitomassa, tanto pela parte aérea como pelo sistema radicular; e culturas para cobertura do solo (Silva et al., 2010). Pois, todos estes aspectos promovem alterações no estoque de C e N nos compartimentos físicos da MOS (Conceição et al., 2005; Diekow et al., 2005) e nos atributos microbiológicos (Anderson & Domsch, 2010), os quais podem modificar a qualidade do solo.

As alterações na qualidade do solo, devido aos aspectos supracitados, são ocasionadas pelas variações na quantidade e qualidade da matéria orgânica adicionada (Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011); pela variação na forma de adição desta MOS, que ocorrem tanto pela parte aérea como pelo sistema radicular das culturas (Janzen et al., 1998; Santos et al., 2011); pela adição de exsudados e secreções radiculares que variam conforme a espécie, a idade e o vigor das plantas (Balandreau & Knowles, 1978); e pelas diferentes interações biológicas entre raízes de plantas e os microrganismos (Hartmann et al., 2009).

Com base nestas informações, tem-se como hipótese que a variação no número e na alternância de espécies vegetais em sistemas de culturas sob plantio direto modificam os estoques de C e N totais e C e N nos compartimentos físicos da MOS, como também modificam os atributos microbiológicos, os quais afetam diretamente a qualidade do solo (Bayer et al., 2001; Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011). Com isto, o objetivo deste estudo foi determinar os estoques de C e N totais e C e N nos compartimentos físicos da MOS (frações  $>$  e  $<$  53 $\mu$ m) e analisar atributos microbiológicos para distinguir a qualidade do solo de diferentes sistemas de culturas sob plantio direto.

## LITERATURA CITADA

- ANDERSON, T. & DOMSCH, K.H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Biology & Biochemistry*, 42: 2039-2043, 2010.
- BALANDREAU, J. & KNOWLES, R. The rhizosphere. In: DOMMERGUES, Y. R. & KRUPA, S.V., eds. *Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. p.243-268.
- BALDOCK, J.A. & SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31:697-710, 2000.

- BALESDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 53:215-230, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Science Society of American Journal*, 65:1473-1478, 2001.
- BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science*, 79:37-45, 1999.
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:777-788, 2005.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant & Soil*, 268: 319-328, 2005.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special, 35)
- DUXBURY, J.J.; SMITH, M.S. & DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.33-67.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116, 1997.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Tillage & Research*, 66:95-106, 2002.
- HARTMANN, A.; SCHMID, M.; van TUINEN, D. & BERG, G. Plant-driven selection of microbes. *Plant & Soil*, 321: 235-257, 2009.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; GREGORICH, E.G. & ELLERT, B.H. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., eds. *Soil Processes and the C Cycle*. Boca Raton, CRC Press, 1998. p. 57-80.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A & LADD, J.N., eds. *Soil Biochemistry*, v.5, Marcel Dekker, New York, 1981. p 415-471.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of American Journal*, 61:4-10, 1997.
- LAL, R. & PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: DUMANSKI, J.; PUSHPARAJAH, E.; LATHAM, M. & MYERS, R., eds. *Evaluation*

- for sustainable land management in the developing world. v.12, Thailand, Bangkok, 1991.
- MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. & SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:189-198, 2009.
- SANTOS, N.Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. & PIVA, J.T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil & Tillage Research*, 111: 208–218, 2011.
- SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, 87:194-204, 2006.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.A.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D. BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 30:329-337, 2006.
- SILVA, A.P.; BABUJIA, L.C.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, R.A. & HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short-and long-term experiments in Brazil. *Field Crops Research* 119:20–26, 2010.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 76:39-58, 2004.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M. & SA, M.J.C. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79: 7-31, 2004.
- SMITH, J. L. & PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M. & STOTZKY, G., eds. *Soil Biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1990. p. 357-396.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:213-223, 2011.
- XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVIERA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:247-258, 2006.

## **CAPITULO II: ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS FÍSICOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO**

Autor: Bruna Raquel Winck

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

### **RESUMO**

Os estoques de carbono e nitrogênio total e carbono e nitrogênio nas frações  $>$  e  $< 53 \mu\text{m}$  são sugeridos como indicadores chave para o monitoramento da qualidade do solo, devido à influência que exercem na funcionalidade do solo em sistemas agrícolas. Em sistemas de produção agrícola sob plantio direto, o número e a alternância de espécies vegetais cultivadas na rotação têm capacidade de alterar esses estoques no solo, por afetar diretamente as adições de C e N no sistema. Visando avaliar a qualidade do solo em sistemas de culturas em plantio direto, o trabalho foi conduzido em um experimento de longa duração (21 anos) sobre Latossolo Vermelho Distrófico típico, na Fundação ABC, município de Ponta Grossa/ PR. Foram seis tratamentos em blocos ao acaso, com quatro repetições: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, sendo TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* L.); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). Foram estimados os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total e os estoques de carbono e nitrogênio nas frações  $>$  e  $< 53 \mu\text{m}$ , nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 cm. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. As variações entre os sistemas de culturas ocorreram somente na camada de 0-5 cm, devido à manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo em sistemas de plantio direto. Entre os sistemas, o semiperene AL-MI apresentou maior qualidade do solo, pois promoveu maior estoque de NT e C e N da fração  $> 53 \mu\text{m}$  (1,64; 6,84 e 0,52  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente) em comparação ao sistema referência TR-SO (1,33; 5,56 e 0,41  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente). O maior estoque no sistema AL-MI deve-se pela inserção na rotação de culturas de plantas com maior tempo de desenvolvimento no campo, o que favorece a adição de resíduos orgânicos pelo sistema radicular e a proteção desta matéria orgânica no interior dos agregados, uma vez que as raízes estão diretamente na matriz do solo.

**Palavras-chave:** número de plantas; alternância de plantas; adições de carbono e nitrogênio; frações da matéria orgânica do solo.

# CHAPTER I: CARBON AND NITROGEN STOCKS IN PHYSICAL COMPORTMENTS SOIL ORGANIC MATTER IN SYSTEMS OF CROP ROTATION UNDER NO-TILLAGE

Author: Bruna Raquel Winck

Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co- Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co- Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

## ABSTRACT

The stocks of total carbon and nitrogen and carbon and nitrogen in the fractions > and <53  $\mu\text{m}$  are suggested as key indicators for monitoring soil quality due to their influence on the functionality of the soil in agricultural systems. In agricultural production systems in no-till, quantity and the alternation of plant species grown in rotation has the ability to change these stocks in soil, by directly affecting the additions of C and N in the system. In order to evaluate the quality of the soil in cropping systems in no-till, the paper was conducted in a long-term experiment (21 years) on oxisol, the Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. There were six treatments in a randomized block design with four replications: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, as follows: Wheat (*Triticum aestivum* L.) SO: soybean (*Glycine max* L.) ER: vetch (*Vicia villosa* Roth) MI: corn (*Zea mays* L.), AV: oats (*Avena strigosa* Schreb.) AZ: ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam), AL: alfalfa (*Medicago sativa* L.). We analyzed the stocks of total carbon and nitrogen and stocks of carbon and nitrogen in fractions > and <53  $\mu\text{m}$  at depths of 0-5, 5-10, 10-20 cm. The results were submitted to ANOVA and when significant, means were compared by Tukey test at 5% significance level. The variation among cropping systems occurred only in the 0-5 cm layer due to the maintenance of plant residues on the soil in no-till systems. Among the systems, the semi perennial AL-MI had higher soil quality compared to the reference TR-SO, as promoted greater stock of NT and C and N fraction > 53  $\mu\text{m}$  (1.64, 6.84 and 0.52  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectively) compared to the reference system (1.33, 5.56 and 0.41  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectively). The largest stock in the system AL-MI should be inserted in the crop rotation plants with longer field development, which favors the addition of organic waste by the root system and protection of organic matter within the aggregates, since the roots are inserted directly into the soil matrix.

Keywords: number of plants, plant alternation, additions of carbon and nitrogen; fractions of soil organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

Qualidade do solo pode ser definida pela sua funcionalidade dentro de ecossistemas naturais e agrícolas (Doran & Parkin, 1994; Carter, 2001; Karlen et al., 2003), onde se destacam as funções propostas por Larson & Pierce (1991) e Karlen et al. (1997): a) servir como meio de crescimento às plantas; b) regular e compartimentalizar os fluxos de água no ambiente; c) estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; d) funcionar como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais.

Existem muitas propostas para o monitoramento da qualidade do solo, porém a avaliação dos estoques de C e N totais e de C e N nos compartimentos físicos (C e N das frações  $> e < 53\mu\text{m}$ ) da matéria orgânica (MO) são sugeridos como indicadores chave (Carter, 2002; Conceição et al., 2005; Shukla et al., 2006). Isto porque o aumento nos estoques de C e N favorece diversos processos edáficos, que melhoram a funcionalidade do solo, tais como a diversidade e a atividade biológica; o estoque e a ciclagem biológica de nutrientes; a atenuação de compostos e elementos prejudiciais ao ecossistema; o aumento da CTC efetiva; a infiltração e a retenção de água; e a formação e a estabilização de agregados (Six et al., 2002ab; Balota et al., 2004; Shukla et al., 2006; Vieira et al., 2009). Além disso, os estoques de C e N são sensíveis às variações de manejo (Bayer et al., 2001; Diekow et al., 2005; Xavier et al., 2006; Ashagrie et al., 2007; Santos et al., 2011) e, por isso, permitem monitorar modificações na qualidade do solo (Shukla et al., 2006). Outro aspecto que relaciona o estoque de C e N com a qualidade do solo é a sua capacidade de seqüestro de C e de acúmulo de N a partir da atmosfera, que é favorecido por práticas de manejo conservacionistas, como sistema de plantio direto e rotações de culturas (Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005; Cerri et al., 2007; Zanatta et al., 2007; Vezzani & Mielniczuk, 2009).

Dentre os compartimentos físicos da MO, C e N da fração  $> 53 \mu\text{m}$  (MO particulada) apresentam maior sensibilidade em avaliar alterações no solo (Conceição et al., 2005). A MO particulada é constituída por resíduos de fungos, animais e plantas, com estrutura celular reconhecível, em diferentes graus de fragmentação e humificação, cuja entrada e magnitude ocorrem no espaço compreendido entre o solo, a serapilheira e a raiz (Duxbury et al., 1989). Desta forma, o manejo do sistema associado ao preparo do solo; à incorporação, à quantidade e à qualidade dos resíduos orgânicos; à proporção de raízes/parte aérea; à frequência e à duração das culturas no campo interferem na dinâmica e na magnitude da MO particulada (Janzen et al., 1998; Balesdent et al., 2000; Six et al., 2002a; Chevallier et al., 2004; Santos et al., 2011). A MO neste compartimento corresponde, experimentalmente, a fragmentos



orgânicos do tamanho areia (Diekow et al., 2005; Cambardella & Elliott, 1992). Estes fragmentos podem interagir com a fração mineral do solo, principalmente areia, através da ação de polissacarídeos, mucilagens microbianas, hifas fúngicas e raízes finas, que ocasionará, posteriormente, na participação desta fração na composição dos agregados (Balesdent et al., 2000; Carter, 2002; Six et al., 2002; 2004; Diekow et al., 2005).

O compartimento de C e N da fração  $< 53 \mu\text{m}$  (MO associada aos minerais) são compostos orgânicos oriundos, principalmente, da decomposição da serapilheira e da MO particulada, e esta fração está intimamente associada com os minerais das frações silte e argila, principalmente argila (Cambardella & Elliott, 1992; Feller & Beare, 1997). A MO contida na fração silte consiste numa mistura de MO particulada com compostos orgânicos mais humificados (Balabane & Plate, 2004; Diekow et al., 2005). E a MO contida na fração argila consiste, predominantemente, de compostos orgânicos de elevado grau de humificação e/ou de maior solubilidade (Diekow et al., 2005). De modo geral, a MO associada aos minerais também é fundamental na formação e estabilização de agregados, principalmente dos microagregados, em virtude da forte interação organomineral que ocorre nesse tamanho de partícula, devido à maior área de superfície específica das partículas e pelas ligações de caráter físico e químico (Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2004).

Sistemas de culturas que adicionam maior quantidade de resíduos orgânicos favorecem os incrementos nos estoques de C e N nas frações  $> e < 53 \mu\text{m}$  (Balesdent et al., 2000; Six et al., 2000; Bayer et al., 2001; Six et al., 2002a; Chevallier et al., 2004; Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005), como é o caso de sistemas de culturas sob plantio direto (SPD). Contudo, nos SPD, a variação no número e na alternância de espécies vegetais na rotação de culturas são fatores que afetam diretamente os estoques de C e N, o que pode modificar significativamente a qualidade do solo. A alteração na qualidade do solo pelos fatores supracitados é devido às variações que ocorrem na quantidade, qualidade e forma de adição de C e N ao solo (Oades, 1995; Santos et al., 2011), que são mais evidentes quando se leva em consideração a variação na proporção entre gramíneas e leguminosas. A ordenação anual de plantas, a utilização de culturas para cobertura e a utilização de culturas com elevada produção de fitomassa, tanto pela parte aérea como pelo sistema radicular (Janzen et al., 1998) também colaboram com essa variação.

Assim, como hipótese, há alteração na qualidade do solo em sistemas de culturas que variem o número e a alternância de plantas na rotação em função das modificações que ocorrem nos estoques de C e N na fração  $> e < 53 \mu\text{m}$ , principalmente na fração  $> 53 \mu\text{m}$ , e por estes estoques estarem diretamente relacionados com a funcionalidade do solo (Bayer et

al., 2004; Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011). O objetivo deste trabalho foi determinar os estoques de C e N totais e C e N nos compartimentos físicos da MO para distinguir a qualidade do solo de diferentes sistemas de culturas sob plantio direto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área experimental, Delineamento Experimental e Tratamentos

A área experimental está localizada no Centro de Experimentação para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária da Fundação ABC, município de Ponta Grossa/PR. A localização geográfica é 25°00'35" S e 50°09'16" N, com altitude de 890 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido, mesotérmico, do tipo Cfb. Os verões são frescos, as geadas são frequentes no inverno e a temperatura média no mês mais quente é menor que 24,1°C e do mês mais frio menor que 13,3°C, sendo a média anual 17,8°C. A precipitação média anual é de 1554 mm e a média da umidade relativa do ar é de 77,2% (IAPAR, 2011).

Na Figura 1, está apresentada a temperatura e a precipitação média mensal ocorrida no momento da coleta, que ocorreu em Novembro de 2010.

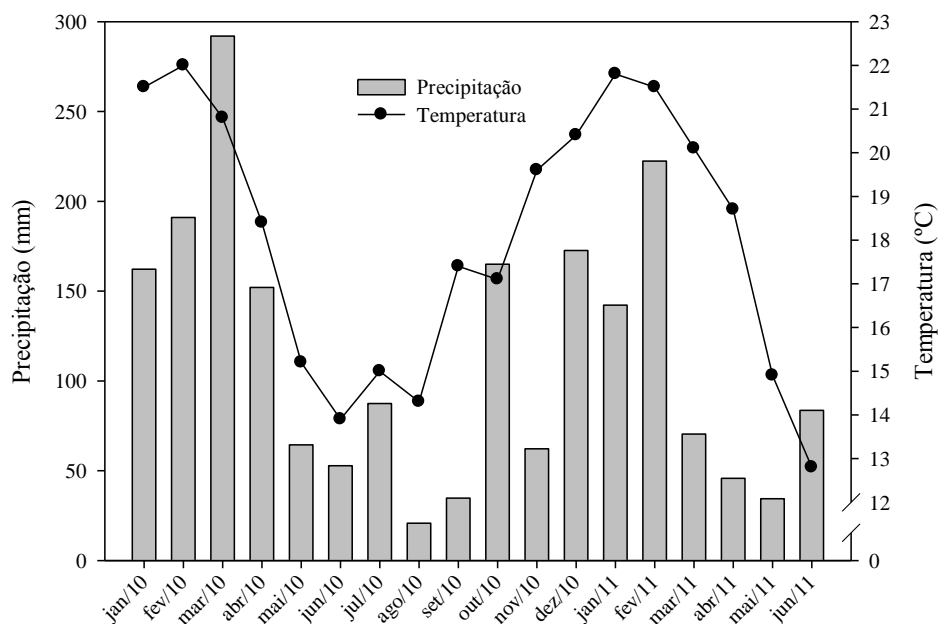


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal em Ponta Grossa/ PR, Fundação ABC. Dados fornecidos pelo SIMEPAR.

A pesquisa foi conduzida em um experimento de longa duração, instalado desde o inverno de 1989 em plantio direto com diferentes sistemas de rotações de culturas. O

delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições e seis tratamentos, que estão identificados na Tabela 1.

Para testar a hipótese, utilizou-se um sistema de sucessão anual de culturas (TR-SO), com duas culturas e sem alternância de espécies vegetais, como referência para a comparação dos sistemas avaliados. Os demais sistemas estudados apresentam variação no número e na alternância de plantas na rotação.

Tabela 1. Identificação e caracterização dos tratamentos (sistemas de culturas), tipo de rotação, resíduo da cultura no momento da coleta e relação gramínea/leguminosa no tempo, em sistema de plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1,2</sup> (espécies vegetais em alternância)	Rotação de culturas <sup>3</sup>	Número de plantas na rotação <sup>3</sup>	Resíduo presente na coleta	Relação G/L <sup>6</sup>	Adição de C - parte aérea <sup>7</sup>	Adição de C – raízes <sup>7</sup>	Adição total de C <sup>7</sup>
					----- Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----		-----
TR-SO	anual	2	Trigo	1:1	3,78	1,91	5,69
ER-MI-AV-SO-TR-SO	trianual	6	Aveia	3:3	5,17	2,09	7,26
AV-MI-TR-SO	bianual	4	Trigo	3:1	5,56	2,02	7,58
ER-MI-TR-SO	bianual	4	Trigo	2:2	6,2	2,36	8,56
AZ <sup>4</sup> -MI-AZ-SO	bianual	4	Azevém	3:1	5,33	3,11	8,44
AL-MI	semiperene	2	Alfafa <sup>5</sup>	1:1	2,78	4,74	7,52

**1)** TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.); Sistemas com alternância de culturas na rotação; **2)** Houve adubação nitrogenada para a cultura do trigo (220 kg ha<sup>-1</sup> de uréia e 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 14-34-00) e para a cultura do azevém (110 kg ha<sup>-1</sup> de uréia e 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 12-32-00) na safra de inverno de 2010; **3)** variação no número de plantas na rotação; **4)** Após o último corte do azevém, que é utilizado para pastejo, há rebrota da cultura e posteriormente é realizado uma dissecação; **5)** Cultura da alfafa permanece em desenvolvimento num período de 2,5 anos, com 7 a 8 cortes anuais; **6)** Relação G/L = relação do número de espécies vegetais gramíneas e leguminosas na rotação; **7)** Adição de carbono pelos diferentes modelos de rotação de culturas em plantio direto, no ano de 2006, dados obtidos por Santos et al. (2011).

O solo do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, A Moderado (Embrapa, 2006), com declividade plano suave ondulada. A textura é argilosa e os minerais predominantes na fração argila são, em ordem de predominância, caulinita (Ct) e hematita (Hm) [Tabela 2]. Na Tabela 3, encontra-se a caracterização química do experimento após 21 anos de condução dos sistemas de culturas em plantio direto.

## 2.2. Coleta e preparo das amostras de solo

A coleta de solo foi realizada em novembro de 2010, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em dois pontos na parcela, considerando as linhas e entrelinhas de cultivo. A retirada do solo foi pelo método de escavação, como proposto por Blake & Hartge (1986), no formato de faixa, com dimensões de 25 x 50 cm. As amostras foram homogeneizadas e pesadas para a determinação da densidade do solo (Blake & Hartge, 1986). Subamostras foram retiradas para

determinação da umidade gravimétrica (Embrapa, 1997) e para serem processadas em terra fina seca ao ar (TFSA), para os procedimentos analíticos.

Tabela 2. Análise granulométrica e caracterização mineralógica qualitativa dos minerais da fração argila, na camada de 0-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	Granulometria <sup>2</sup>			Mineralogia <sup>3</sup>
	Areia	Silte	Argila	Minerais predominantes na fração argila
	g kg <sup>-1</sup>			
TR-SO	442	109	450	Ct; Hm
ER-MI-AV-SO-TR-SO	446	104	450	Ct; Hm
ER-MI-TR-SO	454	96	450	Ct; Hm
AV-MI-TR-SO	448	102	450	Ct; Hm
AZ-MI-AZ-SO	448	102	450	Ct; Hm
ALF-MI	454	96	450	Ct; Hm

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). 2) Determinado segundo Embrapa (1997); 3) Análise qualitativa da fração mineral argila, identificada por difratometria de raio X (DRX), através do uso de difratômetro modelo Philips PW1050/70. (Apêndice 9).

Tabela 3. Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	pH	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	SB	CTC	V%
	CaCl <sub>2</sub>	SMP	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								
TR-SO	5,40	6,0	-	5,0	5,0	2,0	0,49	27,2	7,5	12,5	60,0
ER-MI-AV-SO-TR-SO	5,40	6,0	-	5,0	3,8	1,6	0,55	18,7	6,0	11,0	54,3
ER-MI-TR-SO	5,20	6,0	-	5,0	4,6	2,0	0,54	29,8	7,1	12,1	58,8
AV-MI-TR-SO	5,40	6,1	-	7,8	4,5	1,9	0,49	17,3	6,9	14,7	46,9
AZ-MI-AZ-SO	5,00	5,8	-	5,8	3,9	1,8	0,32	30,7	6,0	11,8	50,9
ALF-MI	4,90	5,8	-	5,8	4,2	1,0	0,69	79,0	5,9	11,7	50,4

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). A caracterização química do solo (H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P<sub>mehlich</sub>, pH<sub>CaCl2</sub>, pH<sub>SMP</sub>) foi determinada segundo Marques & Motta (2003).

## 2.3. Avaliações

### 2.3.1. Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total do Solo

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca em analisador elementar Vario El III – Elementar®.

### 2.3.2. Carbono e Nitrogênio nas frações > e < 53 µm do solo

A MO na fração > 53 µm foi obtida mediante separação física, conforme metodologia proposta por Cambardella & Elliott (1992). Em frascos “snap-cap” foram pesados 20 g de solo (TFSA) e adicionados 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L<sup>-1</sup>). A suspensão foi agitada durante 15 horas em agitador horizontal. Posteriormente, o material foi passado em

peneira de 53µm, com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que constitui a MO da fração >53 µm (MO particulada), foi transferido para recipientes plásticos e secos em estufa a 40°C. As amostras secas foram moídas, pesadas e analisadas quanto aos teores de carbono e nitrogênio por combustão seca em analisador elementar Vario El III – elemental®. A matéria orgânica da fração <53 µm (MO associada aos minerais) foi determinada pela diferença entre os teores totais no solo e os teores na MO da fração >53µm.

### 2.3.3. Cálculo de estoque de carbono e nitrogênio no solo

Para quantificar os estoques de C e N totais e nas frações > e <53µm, os valores foram corrigidos para a massa de solo equivalente, utilizando o sistema de sucessão de culturas TR-SO como linha base (referência). Este procedimento normaliza a densidade do solo (Tabela 4). Para isso, foi utilizado equação adaptada de Sisti et al. (2004).

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

Onde:

Cs – estoque total;  $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  - a soma de o teor de carbono total (Mg ha<sup>-1</sup>) da camadas 1 (superfície) para camada de n - 1 (penúltimo) no perfil de tratamento;  $\sum_{i=1}^n M_{Si}$  - a soma de a massa de solo (Mg ha<sup>-1</sup>) da camadas de 1 (superfície) para n (maior profundidade) no perfil do solo de referência;  $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  - a soma de a massa de solo (Mg ha<sup>-1</sup>) da camada 1 (de superfície) para n (maior profundidade) no perfil de tratamento;  $M_{Tn}$  - a massa de solo na camada mais profunda no perfil de tratamento;  $C_{Tn}$  – concentração de C e N na camada mais profunda no perfil de tratamento.

Tabela 4. Densidade do solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	Camadas		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	g cm <sup>-3</sup>		
TR-SO	1,03	1,16	1,24
ER-MI-AV-SO-TR-SO	0,96	1,16	1,24
ER-MI-TR-SO	0,96	1,18	1,27
AV-MI-TR-SO	1,04	1,23	1,33
AZ-MI-AZ-SO	0,93	1,13	1,31
AL-MI	0,93	1,29	1,32

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.).

## **2.4. Análise Estatística**

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa ASSISTAT. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A variável “camada” foi analisada como subparcela. Foi realizada análise de regressão entre os estoques de C e N totais e C e N das frações > e <53µm, para avaliar o comportamento e tendência dos estoques de C e N em cada fração e em cada camada.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Teores de carbono e nitrogênio totais e das frações > e < 53 µm do solo**

Observam-se diferenças significativas entre as camadas para os teores de C e N dos compartimentos físicos da MO, onde os maiores teores ocorreram na camada superficial do solo. Entretanto, houve menores variações na fração <53µm em profundidade, caracterizando maior homogeneidade neste compartimento.

Entre sistemas, houve variação somente na camada de 0-5 cm para NT e C e N da fração >53µm, onde o sistema semiperene AL-MI apresentou os maiores teores, com 3,12 g kg<sup>-1</sup> (NT), 13,28 g kg<sup>-1</sup> (C da fração > 53 µm) e 1,01 g kg<sup>-1</sup> (N da fração > 53 µm). O sistema bianual ER-MI-TR-SO obteve os menores teores de NT (2,57 g kg<sup>-1</sup>), C da fração > 53 µm (10,97g kg<sup>-1</sup>) e N da fração > 53 µm (0,78 g kg<sup>-1</sup>), seguido do sistema anual TR-SO, que é o sistema referência, com valores de 2,67, 10,80 e 0,79 g kg<sup>-1</sup> de NT, C da fração > 53 µm e N da fração > 53 µm, respectivamente.

### **3.2. Estoques de C e N totais e das frações > e < 53 µm do solo**

Entre as camadas, houve variação significativa para todos os compartimentos avaliados, com maior estoque na camada de 10-20 cm. Porém, esse resultado é devido a camada de 10-20 cm apresentar o dobro de massa de solo em comparação às demais. Considerando camadas de 5 cm, os maiores estoques ocorreram nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente.

Entre os sistemas, houve diferença significativa na camada de 0-5 cm para os estoques de NT, C e N >53µm. Nessa camada, o estoque de NT entre os sistemas variou de 1,33 a 1,64 Mg ha<sup>-1</sup>, onde o menor estoque foi no sistema referência, o anual TR-SO, e o maior estoque no sistema semiperene AL-MI, seguido do sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO com 1,52 Mg ha<sup>-1</sup>. Quanto aos estoques de C da fração > 53 µm e N da fração > 53 µm, o sistema AL-MI também apresentou os maiores valores: 6,84 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,52 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os menores estoques ocorreram no sistema bianual ER-MI-TR-SO (5,65 Mg ha<sup>-1</sup> C da fração >

53  $\mu\text{m}$  e 0,40  $\text{Mg ha}^{-1}$  N da fração > 53  $\mu\text{m}$ ) e no referência, o anual TR-SO (5,56  $\text{Mg ha}^{-1}$  C da fração > 53  $\mu\text{m}$  e 0,41  $\text{Mg ha}^{-1}$  N da fração > 53  $\mu\text{m}$ ). Os estoques de C e N <53  $\mu\text{m}$  não apresentaram diferença entre os sistemas de culturas, na camada 0-5 cm, com variação de 11,79 a 13,15  $\text{Mg ha}^{-1}$  para C da fração < 53  $\mu\text{m}$  e 0,92 a 1,12  $\text{Mg ha}^{-1}$  para N da fração < 53  $\mu\text{m}$ .

Quanto ao estoque acumulado (0-20 cm), os valores de COT variaram de 63,55  $\text{Mg ha}^{-1}$  no sistema semiperene AL-MI a 57,83  $\text{Mg ha}^{-1}$  no sistema bianual ER-MI-TR-SO. Para o estoque de NT, a variação foi de 4,60  $\text{Mg ha}^{-1}$  para AL-MI e 3,98  $\text{Mg ha}^{-1}$  para o TR-SO. Nas frações, somente o estoque de N da fração > 53  $\mu\text{m}$  apresentou variação estatística na camada de 0-20 cm, com maior valor no sistema AL-MI e menor no sistema ER-MI-TR-SO e TR-SO, com valores de 0,91, 0,67 e 0,69  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 2).

### **3.3. Proporções de C e N nas frações > e < 53 $\mu\text{m}$ do solo**

Na camada de 0-5 cm, na média de todos os sistemas, o estoque das frações >53  $\mu\text{m}$  contribuiu com 33,85% para o COT e 30,93% para o NT, diminuindo nas profundidades 5-10 e 10-20 cm para valores de 15,63 e 9,96% de COT e 14,14 e 9,24% de NT, respectivamente. A contribuição da fração >53  $\mu\text{m}$  nos estoques totais de C e N não apresentou diferença estatística entre os sistemas em nenhuma profundidade.

Quanto à contribuição das frações <53  $\mu\text{m}$  (C da fração < 53  $\mu\text{m}$  e N da fração < 53  $\mu\text{m}$ ) para o estoque total, na média entre os sistemas, na camada de 0-5 cm foi de 66,15 e 69,06%, na camada de 5-10 cm foi de 84,37 e 85,86%, e na camada de 10-20 cm foi de 90,04 e 90,76%, para COT e NT, respectivamente (Figura 3).

Tabela 5. Teores de C e N totais, C e N da fração > 53 µm e C e N da fração < 53 µm, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	COT	NT	C da fração > 53 μm	N da fração > 53 μm	C da fração < 53 μm	N da fração < 53 μm
	g kg <sup>-1</sup> de solo					
	0-5 cm					
TR-SO	35,04 <sup>ns</sup> A	2,67 bcA	10,80 bA	0,79 bcA	24,23 aA	1,88 aA
ER-MI-AV-SO-TR-SO	36,85 A	2,94 abA	12,89 aA	0,91 abA	23,96 aA	2,03 aA
ER-MI-TR-SO	32,68 A	2,57 cA	10,97 bA	0,78 cA	21,71 aA	1,77 aA
AV-MI-TR-SO	35,93 A	2,76 bcA	12,78 aA	0,87 bcA	23,15 aA	1,89 aA
AZ-MI-AZ-SO	35,21 A	2,71 bcA	12,33 abA	0,85 bcA	22,65 aA	1,86 aA
AL-MI	37,45 A	3,12 aA	13,28 aA	1,01 aA	24,33 aA	2,11 aA
<b>Média 0-5 cm</b>	<b>35,52</b>	<b>2,80</b>	<b>12,18</b>	<b>0,87</b>	<b>23,34</b>	<b>1,92</b>
5-10 cm						
TR-SO	26,02 <sup>ns</sup> B	1,87 aB	4,36 aB	0,28 aB	21,65 aAB	1,59 aB
ER-MI-AV-SO-TR-SO	26,30 B	1,93 aB	4,92 aB	0,34 aB	21,38 aAB	1,58 aB
ER-MI-TR-SO	24,55 B	1,79 aB	4,29 aB	0,27 aB	20,56 aAB	1,57 aA
AV-MI-TR-SO	24,67 B	1,82 aB	4,24 aB	0,26 aB	20,42 aB	1,56 aB
AZ-MI-AZ-SO	26,63 B	1,91 aB	3,65 aB	0,24 aB	22,93 aA	1,65 aA
AL-MI	27,58 B	2,13 aB	4,91 aB	0,35 aB	23,17 aA	1,78 aB
<b>Média 5-10 cm</b>	<b>25,96</b>	<b>1,91</b>	<b>4,40</b>	<b>0,29</b>	<b>21,69</b>	<b>1,62</b>
10-20 cm						
TR-SO	21,25 <sup>ns</sup> C	1,30 <sup>ns</sup> C	1,99 <sup>ns</sup> C	0,10 <sup>ns</sup> C	19,26 <sup>ns</sup> B	1,20 <sup>ns</sup> C
ER-MI-AV-SO-TR-SO	21,17 C	1,33 C	2,07 C	0,12 C	19,10 B	1,21 C
ER-MI-TR-SO	20,35 C	1,32 C	2,10 C	0,11 C	18,41 B	1,26 B
AV-MI-TR-SO	20,75 C	1,32 C	2,13 C	0,12 C	18,61 B	1,20 C
AZ-MI-AZ-SO	20,74 C	1,25 C	2,10 C	0,12 C	18,63 B	1,13 B
AL-MI	22,83 C	1,47 C	2,65 C	0,18 C	19,94 B	1,28 C
<b>Média 10-20 cm</b>	<b>21,18</b>	<b>1,33</b>	<b>2,17</b>	<b>0,13</b>	<b>18,99</b>	<b>1,21</b>
CV% sistemas	8,93	10,85	13,90	17,38	11,06	13,78
CV% profundidades	5,66	6,61	11,60	13,16	7,03	8,65

Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre profundidades pelo teste Tukey a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre tratamentos pelo teste Tukey a 5% de significância. 1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). CV%: coeficiente de variação, em percentagem.



Tabela 6. Estoques de C e N totais (COT e NT), C e N da fração > 53 µm (MO particulada), C e N da fração < 53 µm (MO associada aos minerais), relação C/N e proporção das frações > e < 53 µm no estoque total, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e na camada 0-20 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	COT	NT	Relação C/N <sup>2</sup>	C da fração > 53 µm	N da fração > 53 µm	Relação C/N <sup>3</sup>	C da fração < 53 µm	N da fração < 53 µm	Relação C/N <sup>4</sup>
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----
<b>0-5 cm</b>									
TR-SO	18,04 aB	1,33 bB	13,53 aB	5,56 bA	0,41 bA	13,81 <sup>ns</sup> B	12,48 <sup>ns</sup> B	0,92 <sup>ns</sup> B	13,61 <sup>ns</sup> B
ER-MI-AV-SO-TR-SO	18,48 aB	1,52 abA	12,21 bC	6,64 abA	0,47 abA	14,16 A	11,84 B	1,05 B	11,33 C
ER-MI-TR-SO	17,44 aB	1,35 bB	12,87 abC	5,65 bA	0,40 bA	14,15 B	11,79 B	0,95 B	12,35 C
AV-MI-TR-SO	18,50 aB	1,42 bB	13,02 abC	6,58 abA	0,45 abA	14,59 A	11,92 B	0,97 B	12,29 B
AZ-MI-AZ-SO	18,62 aB	1,42 bB	13,11 abC	6,35 abA	0,44 abA	14,43 A	12,27 B	0,98 B	12,51 C
AL-MI	19,99 aB	1,64 aB	12,16 bC	6,84 aA	0,52 aA	13,14 A	13,15 B	1,12 B	11,73 C
<b>Média 0-5 cm</b>	<b>18,51 B</b>	<b>1,45 B</b>	<b>12,82 C</b>	<b>6,27 A</b>	<b>0,45 A</b>	<b>14,05 A</b>	<b>12,24 B</b>	<b>1,00 B</b>	<b>12,30 C</b>
<b>5-10 cm</b>									
TR-SO	14,39 <sup>ns</sup> C	1,04 <sup>ns</sup> C	13,87 <sup>ns</sup> B	2,53 <sup>ns</sup> B	0,16 <sup>ns</sup> B	15,95 <sup>ns</sup> AB	11,86 <sup>ns</sup> B	0,88 <sup>ns</sup> B	13,53 <sup>ns</sup> B
ER-MI-AV-SO-TR-SO	14,68 C	1,09 B	13,49 B	2,60 B	0,18 B	14,31 A	12,09 B	0,91 C	13,34 B
ER-MI-TR-SO	14,38 C	1,01 C	14,27 B	2,25 B	0,14 B	16,57 AB	12,13 B	0,87 B	13,93 B
AV-MI-TR-SO	14,71 C	1,02 C	14,54 B	2,50 B	0,15 B	16,82 A	12,22 B	0,87 B	14,22 A
AZ-MI-AZ-SO	15,63 C	1,09 C	14,33 B	1,67 C	0,11 B	15,46 A	13,95 B	0,98 B	14,20 B
AL-MI	15,45 C	1,16 C	13,36 B	2,44 B	0,17 B	14,43 A	13,00 B	0,99 B	13,18 B
<b>Média 5-10 cm</b>	<b>14,87 C</b>	<b>1,07 C</b>	<b>13,98 B</b>	<b>2,33 B</b>	<b>0,15 B</b>	<b>15,59 A</b>	<b>12,54 B</b>	<b>0,92 B</b>	<b>13,73 B</b>
<b>10-20 cm</b>									
TR-SO	26,35 <sup>ns</sup> A	1,61 <sup>ns</sup> A	16,33 <sup>ns</sup> A	2,47 <sup>ns</sup> B	0,12 <sup>ns</sup> B	20,06 <sup>ns</sup> A	23,88 <sup>ns</sup> A	1,48 <sup>ns</sup> A	16,08 <sup>ns</sup> A
ER-MI-AV-SO-TR-SO	25,96 A	1,61 A	16,12 A	2,44 B	0,14 B	17,66 A	23,52 A	1,47 A	16,04 A
ER-MI-TR-SO	26,02 A	1,67 A	15,61 A	2,53 B	0,14 B	18,67 A	23,49 A	1,53 A	15,36 A
AV-MI-TR-SO	25,43 A	1,65 A	15,50 A	2,72 B	0,15 B	18,58 A	22,71 A	1,50 A	15,24 A
AZ-MI-AZ-SO	26,91 A	1,57 A	17,14 A	2,62 B	0,15 B	17,98 A	24,28 A	1,42 A	17,13 A
AL-MI	28,11 A	1,80 A	15,70 A	3,19 B	0,22 B	15,28 A	24,92 A	1,58 A	15,85 A
<b>Média 10-20 cm</b>	<b>26,46 A</b>	<b>1,65 A</b>	<b>16,07 A</b>	<b>2,66 B</b>	<b>0,15 B</b>	<b>18,04 A</b>	<b>23,80 A</b>	<b>1,50 A</b>	<b>15,95 A</b>
CV% (sistemas)	7,17	9,97	5,35	15,4	21	16,78	8,61	12,02	7,43
CV% (profundidades)	5,53	5,38	3,54	13,59	14,47	15,58	6,47	7,03	5,12

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). 2) relação C/N (COT/NT); 3) relação C/N (C da fração > 53 µm/N da fração > 53 µm); 4) relação C/N (C da fração < 53 µm/N da fração < 53 µm). CV%: coeficiente de variação, em percentagem. Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre profundidades pelo teste Tukey a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre tratamentos pelo teste Tukey a 5% de significância.

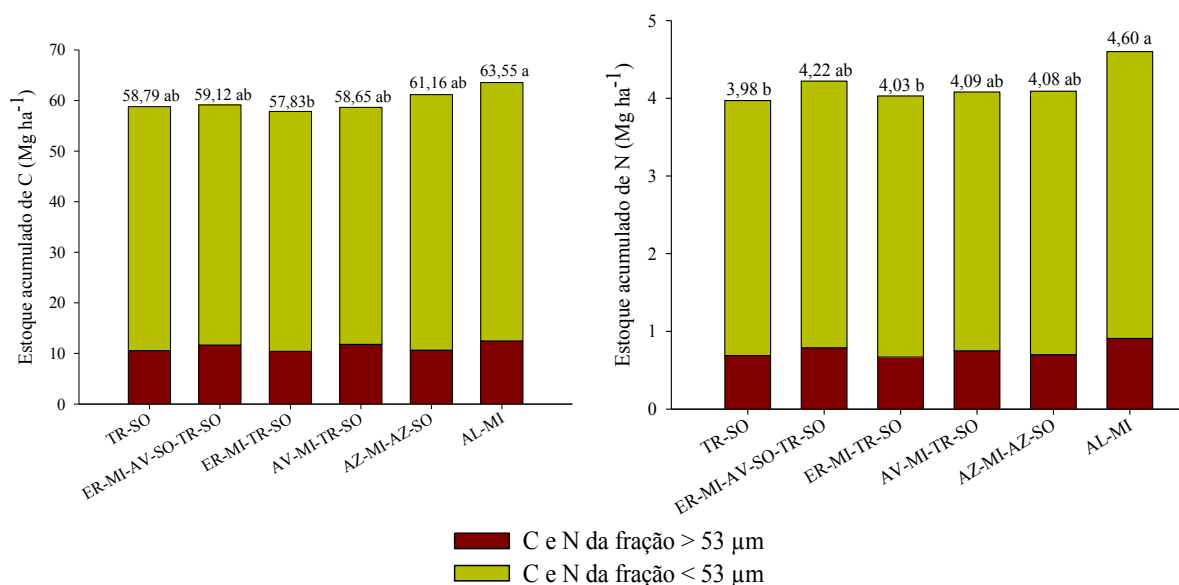


Figura 2. Estoque acumulado (0-20 cm) de carbono orgânico total e nitrogênio total em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

### 3.5. Relação C/N da matéria orgânica total e das frações > e <53 μm do solo

A relação C/N do estoque total, na média entre os sistemas, aumentou ao longo das profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com valores de 12,82, 13,98 e 16,07, respectivamente. Este comportamento também foi verificado na relação C/N da fração >53 μm com valores de 14,05, 16,59 e 18,04 e na fração <53 μm com valores de 12,30, 13,73 e 15,95, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Entre todos os sistemas e profundidades, há tendência a maior relação C/N na fração >53 μm. Na camada 0-5 cm, a menor relação C/N da MO ocorreu no sistema AL-MI (12,16) e a maior, no sistema referência TR-SO (13,53).

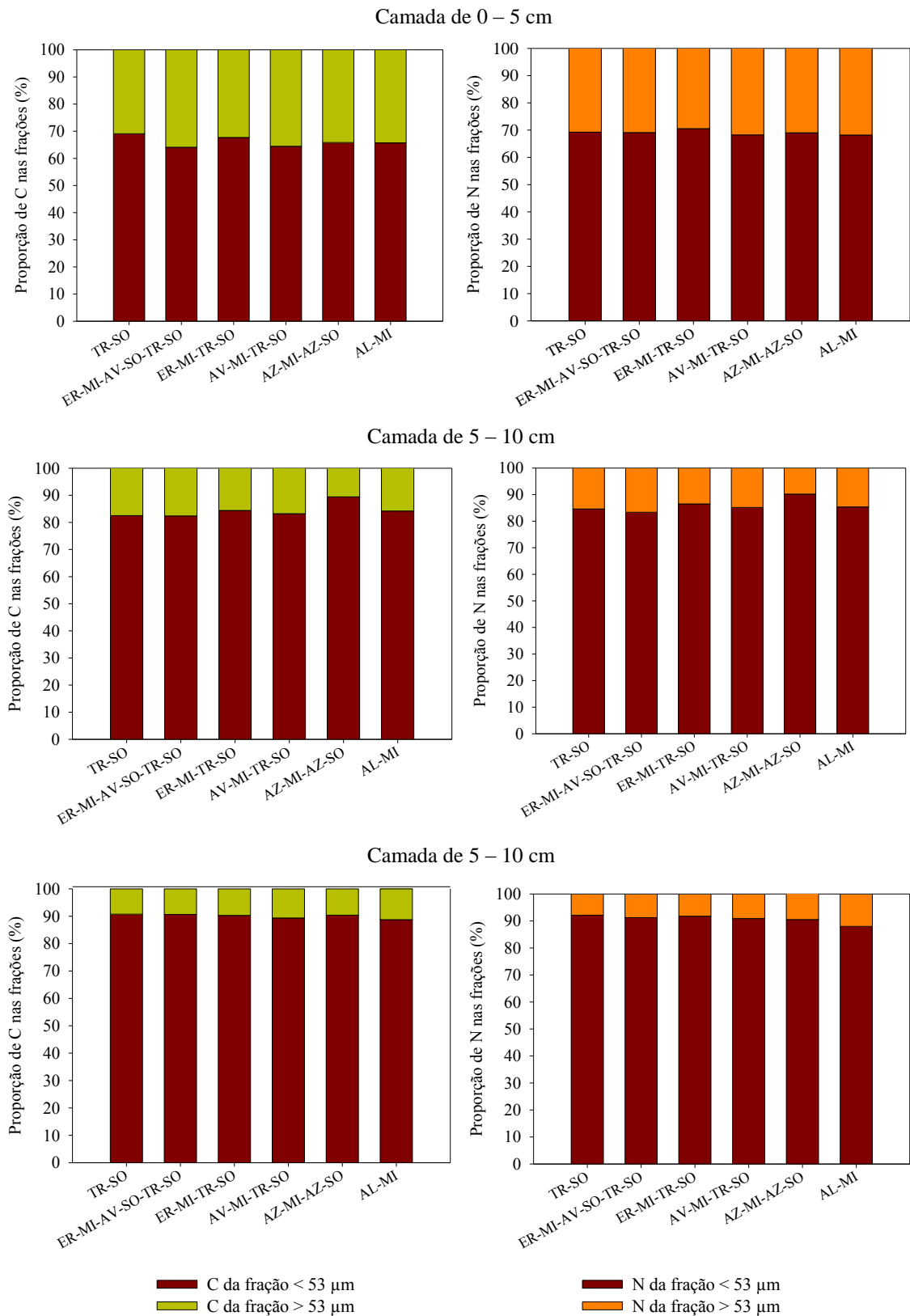


Figura 3. Proporções de C e N das frações > e < 53μm no estoque total de C e N em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

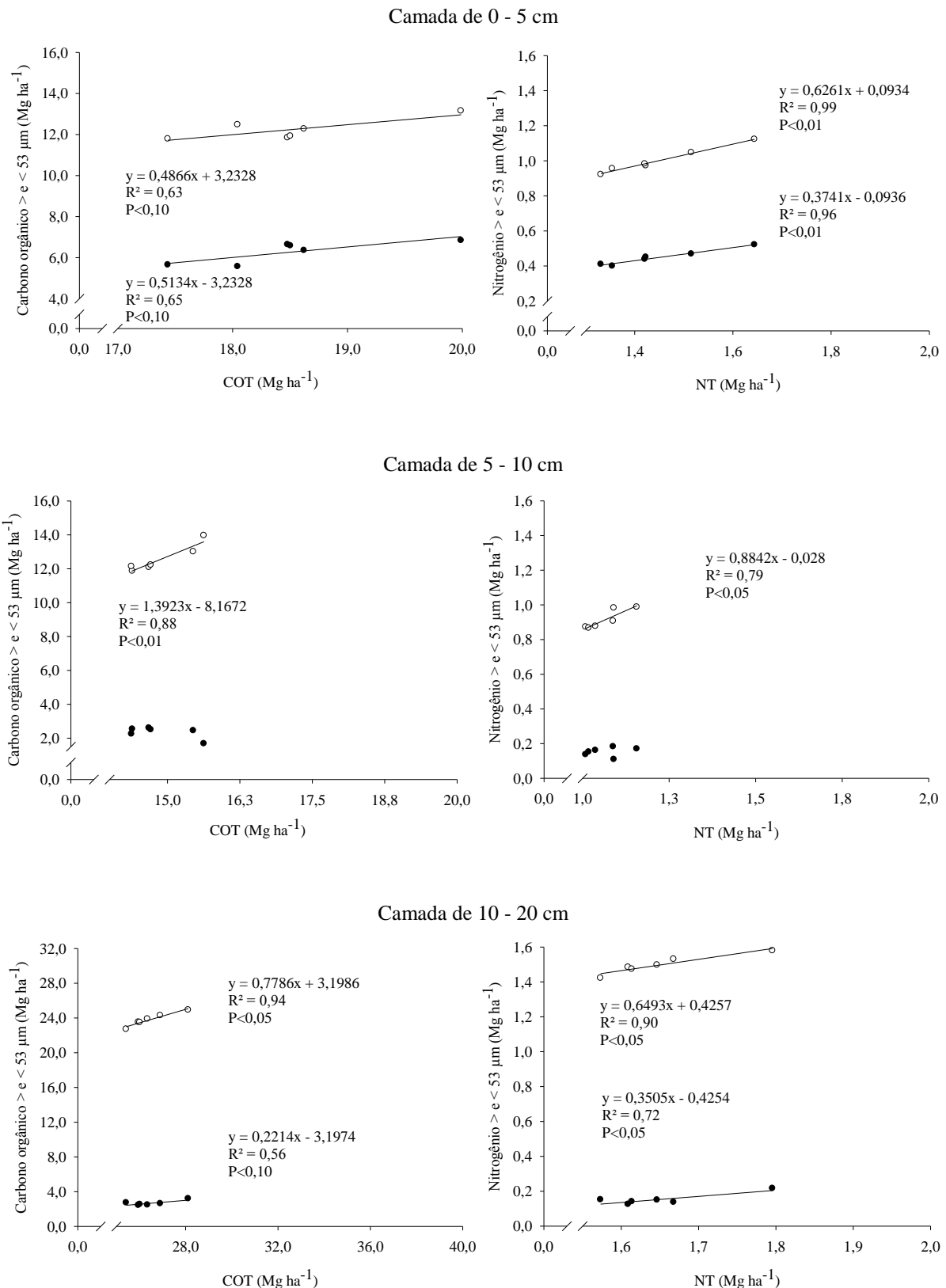


Figura 4. Regressão entre COT e NT com as frações  $> e < 53 \mu\text{m}$  do solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa. ● C e N da fração  $> 53 \mu\text{m}$  e ○ C e N da fração  $< 53 \mu\text{m}$ .

## **4. DISCUSSÃO**

### **4.1. Estoques de C e N totais e nas frações > e < 53 µm do solo entre as camadas**

As diferenças entre as camadas no estoque de C e N na MO do solo e nas frações > e < 53 µm já era esperado em sistemas de plantio direto, devido à ausência de revolvimento do solo e à permanência dos resíduos das culturas na superfície do solo (Diekow et al., 2005). Em plantio direto, o incremento de MO em profundidade é dependente da atividade biológica do sistema, tanto pela fauna edáfica, que transporta resíduos da serapilheira através de sua movimentação no perfil, quanto pelo efeito do sistema radicular das culturas, que adiciona C diretamente na matriz do solo. O aporte de C no perfil pelas raízes pode variar de acordo com a densidade, com o volume e com a profundidade efetiva das raízes (Balota et al., 2004; Rasse et al., 2005). Outro processo que propicia o incremento de C e N em profundidade em sistemas de plantio direto é a percolação da MO dissolvida (Baldock & Skjemstad, 2000; Kalbitz & Kaiser, 2008).

Na fração >53µm, o maior estoque na camada de 0-5 cm em relação às camadas de 5-10 e 10-20 cm é um fator determinante para que a maioria dos processos edáficos de caráter biológico, físico e químico estejam fortemente relacionados com a camada superficial, pois é onde se situa a maioria dos organismos vivos (Six et al., 2002a; Castellazzi et al., 2004) e os maiores teores de C e N orgânico (Tabela 5), promovendo maior biodisponibilidade de C e N para os organismos edáficos. Associado a isto, as maiores variações relacionadas com a disponibilidade de água, ar e nutrientes também são observadas na camada superficial (Balota et al., 2004; Shukla et al., 2006). Neste contexto, a avaliação e o monitoramento da qualidade do solo em sistemas agrícolas em plantio direto está fortemente associada com a dinâmica da MO na superfície (Six et al., 2002a; Conceição et al., 2005).

### **4.2. Estoques de C e N totais e nas frações > e < 53 µm do solo entre sistemas**

As diferenças entre os sistemas de culturas ocorreram, de fato, somente na camada superficial do solo, e estas variações aconteceram apenas para NT e C e N da fração > 53 µm (Tabela 6). A variação no estoque de NT deve-se à dinâmica deste elemento no solo, onde N apresenta uma maior diversidade nos mecanismos de adições e perdas do sistema em relação ao C (Bayer et al., 2000). Dentre estes mecanismos, destacam-se as adições de N pelas espécies leguminosas, que apresentam variações nas taxas de fixação de N atmosférico anualmente, afetando diretamente o estoque de NT do solo (Freire, 1992; Moreira & Siqueira, 2006) e a adubação mineral nitrogenada, que ocorreu nos sistemas avaliados neste estudo nos

quais havia trigo e azevém. Por outro lado, tem-se as perdas decorrentes dos processos de nitrificação e desnitrificação, ocasionando perdas por volatilização e lixiviação (Lovato et al., 2004), que podem ter ocorrido em todos os sistemas estudados, dependendo das condições favoráveis para as transformações do N no solo. Já as diferenças de C e N na fração  $>53\ \mu\text{m}$  entre sistemas de culturas ocorreram, possivelmente, pela variação no aporte de resíduos oriundos tanto da parte aérea quanto das raízes e das suas interações biológicas (Feller & Beare, 1997; Six et al., 2002a), sendo estas frações diretamente relacionadas com as adições de MO pelos sistemas de culturas.

A ausência de diferença na fração  $< 53\ \mu\text{m}$  entre sistemas de culturas demonstra uma menor sensibilidade desta fração à variação no número e na alternância de espécies vegetais na rotação de culturas. Os estoques nesta fração são resultado da íntima associação dos compostos orgânicos mais decompostos com os minerais contidos nas frações silte e argila, principalmente argila, ocasionando a estabilização bioquímica de C e N e, também, a proteção física nos microagregados (Baldock & Skjemstad, 2000; Carter, 2002; Six et al., 2002a; 2002b; 2004; Balabane & Plate, 2004; Diekow et al., 2005). Além disto, os estoques nesta fração da MO são altamente dependentes das características mineralógicas da fração argila em que os minerais caulinita e óxidos de ferro, predominantes no solo deste estudo, possuem alta capacidade de estabilizar a MO (Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2004).

Também foi possível verificar que as variações ocorridas nos estoques de NT e C e N da fração  $> 53\ \mu\text{m}$  entre os sistemas apresentaram semelhança entre as camadas 0-5 (Tabela 5) e 0-20 cm (Figura 2), indicando que as variações na camada superficial modifica, significativamente, o estoque acumulado de 0-20 cm, uma vez que as camadas de 5-10 e 10-20 não apresentaram variação entre sistemas de culturas. Sendo assim, a camada de 0-5 cm avaliada neste estudo é adequada para estudar a diferença entre sistemas de culturas com variação no número de espécies vegetais.

O sistema semiperene AL-MI apresentou potencial diferenciado de estocar C e N no solo. Os maiores estoques de NT e de C e N na fração  $>53\ \mu\text{m}$  no AL-MI podem estar relacionados à adição de compostos orgânicos pelo sistema radicular da alfafa. Santos et al. (2011), em um estudo neste mesmo experimento em 2006, determinaram a adição de C pelo sistema AL-MI de  $7,52\ \text{Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , sendo que somente as raízes contribuíram com 63%, o equivalente a  $4,74\ \text{Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , enquanto o sistema referência TR-SO adicionou  $5,69\ \text{Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com contribuição radicular de apenas  $1,91\ \text{Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , aproximadamente 34%. Somado a esse fato, a cultura da alfafa permanece em desenvolvimento por 2,5 anos, ou seja, permanece por cinco safras agrícolas consecutivas, com 7 a 8 cortes anuais, que

estimulam a rebrota e a renovação de parte do sistema radicular, aumentando o volume e a densidade da exploração no solo (Favero et al., 2008). O aumento do COT pela contribuição das raízes foi confirmado por Santos et al. (2011), pela alta relação observada entre o C adicionado via raízes e COT ( $r^2 = 0,78$ ), enquanto que a correlação do C adicionado pelas raízes mais parte aérea com o COT foi de apenas de 0,33, não havendo significância para a relação do COT apenas com a parte aérea.

A contribuição do sistema radicular no estoque de C e N no solo está, principalmente, associada com diversos mecanismos de proteção e interação da MO oriunda das raízes. Destaca-se mecanismos bioquímicos de proteção da MO, no qual as raízes adicionam ao solo compostos orgânicos de elevada recalcitrância, permitindo um retardo na decomposição; mecanismos de proteção física, onde a MO encontra-se protegida no interior dos agregados e dos microporos (Balesdent & Balabane, 1996; Six et al., 2002a; Rasse et al., 2005); e, por fim, mecanismos de proteção fisicoquímica da MO, onde se destaca a interação da estrutura da lignina, abundante nas raízes, com os minerais da fração argila (Rasse et al., 2005). Estes mecanismos de proteção da MO no solo são mais eficientes em sistemas que aumentam a duração da cultura no campo e que adicionam mais resíduos orgânicos (Janzen et al., 1998), por propiciarem maior tempo para a estabilização do C junto às frações minerais do solo e aos agregados e para estabilização bioquímica. Outra importância do sistema radicular no estoque de C e N deve-se à liberação de resíduos, exsudados e secreções diretamente na matriz do solo, que interagem diretamente com os minerais e participam da estrutura dos agregados, acarretando na proteção física destes compostos orgânicos à ação microbiana (Oades, 1995; Balesdent & Balabane, 1996). Assim, culturas com maior tempo de desenvolvimento, como é o caso da alfafa, possuem elevada produção de raízes, secreções e exsudados (Grayston & Jones, 1996), que promovem o incremento no estoque de C e N no solo por este mecanismo.

Ao comparar o sistema semiperene AL-MI, que apresentou os maiores estoques de NT, C e N da fração  $> 53 \mu\text{m}$ , tanto na camada de 0-5 cm como na de 0-20 cm, com o sistema de sucessão de culturas TR-SO, que apresentou os menores estoques nesses mesmos compartimentos e camadas, pode-se afirmar que sistemas que aportam mais MO pelas raízes, têm maior capacidade de promover incrementos nos estoques de C e N, o que por sua vez, melhora a qualidade do solo. Isto demonstra que a quantidade, qualidade e, principalmente, a forma de adição da MO ao solo são fundamentais nas alterações dos estoques de C e N no solo.

No sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO, os estoques de C e N estão próximos àqueles do sistema semiperene AL-MI, tanto na camada 0-5 cm quanto na camada 0-20 cm.

Este fato pode estar relacionado à quantidade de C adicionado pelos resíduos culturais, 7,26 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, como observado por Santos et al. (2011), que foi semelhante ao aporte do sistema semiperene. No entanto, com adições via sistema radicular inferior, o que pode ter conduzido ao menor estoque de C e N no solo do sistema trianual.

O sistema trianual possui a característica de utilização de plantas com elevada produção de fitomassa e com alta relação C/N (milho, aveia e trigo), associada à utilização de leguminosas (ervilhaca e soja), numa relação entre espécies gramíneas e leguminosas (G/L) de 3:3, fatores estes que podem ter contribuído para os resultados obtidos. As leguminosas no sistema de rotação de culturas aumentam a disponibilidade de N mineral no solo que favorecem o aumento na produção de fitomassa das culturas sucessoras (Lovato et al., 2004; Weber & Mielniczuk, 2009), como o milho e a aveia depois da soja e ervilhaca, e o trigo depois da soja, nesse sistema. A produção de fitomassa em sistemas de culturas é um fator determinante para aumentar os estoques de C e N no solo (Lovato et al., 2004; Weber & Mielniczuk, 2009), principalmente na fração >53µm, pois aumenta a quantidade de resíduos adicionados (Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011). Este fato foi confirmado por Conceição et al. (2005), que encontraram um incremento no estoque do COT em sistemas com inserção de leguminosas em plantio direto, que iniciaram sobre um solo degradado, a ponto de atingir o estoque de C semelhante ao solo sob condição nativa.

Sistemas de produção agrícola com maior número de espécies vegetais alternadas ao longo da rotação de culturas associadas a práticas conservacionistas do solo promovem aumento nos estoques de C e N e possuem a capacidade de melhorar a qualidade do solo (Carter, 2002; Conceição et al., 2005; Vezzani & Mielniczuk, 2009). Além disto, o aumento da frequência e da duração do cultivo de plantas; a redução da intensidade de preparo do solo; a nutrição correta das culturas, principalmente para fins de aumento de fitomassa; e a utilização de plantas perenes (Janzen et al., 1998) também são práticas de manejo que visam aumentar os estoques de C e N e melhorar a qualidade do solo. Pode-se observar que estas práticas foram condizentes com as características de manejo dos sistemas AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO, que tenderam a apresentar os maiores estoques de C e N no solo.

Nos sistemas bianuais AV-MI-TR-SO e AZ-MI-AZ-SO, os estoques de NT e de C e N na fração >53 µm foram semelhantes ao sistema trianual, apesar do aporte de C para estes sistemas de culturas determinado por Santos et al. (2011) ser relativamente maior, com 7,58 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para AV-MI-TR-SO e 8,44 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para AZ-MI-AZ-SO. Estes sistemas possuem três gramíneas antecedendo a inserção de uma leguminosa na rotação (G/L 3:1), o que promove maior aporte de resíduos de gramíneas, que possuem maior



recalcitrância, associado a uma baixa adição de resíduos de leguminosas, que possuem tendência a decomposição mais acelerada e disponibilização de N mineral, em função da relação C/N mais estreita. Assim como o trianual, estes sistemas bianuais com relação G/L 3:1 possuem a influência da disponibilidade de N mineral das leguminosas para a produção de fitomassa das gramíneas (Lovato et al., 2004; Weber & Mielniczuck, 2009), mas como na rotação destes sistemas há menos leguminosas em relação ao sistema trianual, a contribuição de N mineral proveniente de resíduos de leguminosas ocorre em menor magnitude. Este fator foi determinante para que os estoques de C e N no sistema trianual se igualasse aos sistemas bianuais com relação G/L 3:1, pois mesmo com menor adição de resíduos ao solo, o sistema trianual utiliza mais leguminosas na rotação (soja e ervilhaca).

Os menores estoques de NT e de C e N na fração  $>53\ \mu\text{m}$  no sistema bianual ER-MI-TR-SO, possivelmente, estão relacionados com a maior decomposição da MO causada pela inserção de duas leguminosas no sistema (ervilhaca e soja) antecedendo duas gramíneas na rotação, compondo uma relação G/L 2:2, ou seja, a ordenação das culturas na rotação foi determinante para que este sistema promova menor estoque de C e N no solo. Pois, mesmo com uma adição relativamente alta, correspondente a  $7,58\ \text{Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Santos et al., 2011), semelhante ao semiperene AL-MI, pode estar ocorrendo neste sistema uma decomposição acelerada da MO causada por um processo conhecido como “efeito priming” (Kuzyakov et al., 2000; Kuzyakov, 2002). O “efeito priming” se refere ao aumento da disponibilidade de N mineral, tanto pela adição de fertilizantes nitrogenados como pela adição de compostos orgânicos ricos em N prontamente disponível, como é o caso das duas leguminosas em safras seguidas no sistema ER-MI-TR-SO, que podem favorecer o processo de decomposição da MO (Kuzyakov et al., 2000; Kuzyakov, 2002; Kalbitz & Kaiser, 2008), acarretando em perdas de C e N na camada superficial tanto por respiração microbiana como por percolação de compostos orgânicos solúveis e posterior acúmulo em profundidade (Franzuebbers et al., 2002; Kalbitz & Kaiser, 2008; Sá & Lal, 2009). A aceleração do processo foi tal, que mesmo com maior número de espécies vegetais na rotação, os estoques de NT e C e N da fração  $> 53\ \mu\text{m}$  na camada 0-5 cm do sistema ER-MI-TR-SO, assim como o estoque de NT na camada de 0-20 cm, se igualaram ao sistema referência TR-SO, onde as variações entre eles não ultrapassaram 1%.

Com base nos resultados obtidos, vale ressaltar a sensibilidade da fração  $>53\ \mu\text{m}$  em diferenciar os sistemas de culturas com variação no número e na alternância de espécies vegetais na rotação. A variação nos estoques tanto para C da fração  $> 53\ \mu\text{m}$  quanto para N da fração  $> 53\ \mu\text{m}$ , na camada de 0-5 cm, obtida nesse estudo é corroborada com as constatações

apresentadas por vários autores (Bayer et al., 2001; Diekow et al., 2005; Ashagrie et al. 2007; Santos et al., 2011), em que a MO particulada foi mais sensível para comparar sistemas de culturas, pois a redução de C e N neste compartimento foi maior do que na MO associada aos minerais e no estoque total. Além disto, as variações entre os sistemas na superfície foram devido às características intrínsecas de cada rotação de culturas, quanto às características das plantas utilizadas e à ordenação das mesmas na rotação, que afeta fortemente esta fração da MO na camada superficial do solo.

#### **4.3. Proporções de C e N das frações > e < 53 µm no estoque total do solo**

Em todas as camadas avaliadas, as proporções de C e N das frações > e < 53 µm no estoque total no solo não apresentaram variações entre os sistemas estudados (Figura 3).

As maiores proporções ocorreram nas frações < 53µm, tanto para C como para N, correspondendo à MO associada aos minerais, com valores próximos a 70% do estoque total na camada de 0-5 cm (Figura 3). Isto porque as frações granulométricas mais finas, sobretudo a argila, apresentam minerais com elevada capacidade de interação com a MO, por possuírem maior quantidade de cargas e maior área de superfície específica do que a fração areia (Six et al., 2002b). Nas frações > 53µm, a proporção em torno de 30% na camada superficial deve-se à permanência dos resíduos culturais na superfície do solo, ao maior tamanho das partículas orgânicas e ao menor grau de humificação, que, proporcionalmente, não interagem com os minerais de areia ou quando interagem, estas ligações são de caráter físico, sendo facilmente rompidas. Valores próximos às proporções encontradas neste estudo para sistemas de plantio direto foram reportados por Bayer et al. (2004), Conceição et al. (2005) e Diekow et al. (2005). Conceição et al. (2005), considerando que a maior proporção de MO particulada promove melhor qualidade do solo, pois favorece a funcionalidade ao agroecossistema, observaram que sistemas agrícolas com maior qualidade do solo apresentaram proporção de MO particulada com valores próximos a 30%, enquanto solos com menor qualidade apresentaram valores inferiores. Tendo em vista que todos os sistemas avaliados apresentaram proporções de C da fração >53 µm no estoque total em torno de 30 a 36% na camada 0-5 cm (Figura 3), pode-se afirmar que, com base neste atributo, os sistemas apresentam qualidade.

As proporções de C e N da fração > 53 µm no estoque total diminuíram em profundidade, porque este compartimento é diretamente influenciado pela adição recente de resíduos, que no caso do sistema de plantio direto ocorre em superfície. Com o avanço do processo de decomposição, há uma tendência de decréscimo desta proporção na camada superficial, porém, devido ao aporte contínuo de resíduos e à proteção de parte da MO

particulada pelos mecanismos de agregação, a camada superficial do solo sempre terá maior contribuição da MO da fração  $>53\ \mu\text{m}$  para o estoque total em comparação com as demais camadas (Six et al., 2002a; 2004; Balesdent et al., 2000; Baldock & Skjemstad, 2000). Assim, a MO da fração  $>53\ \mu\text{m}$  na camada superficial determinou as diferenças ocorridas entre sistemas de culturas.

O contrário acontece com as proporções de C e N da fração  $<53\ \mu\text{m}$  no estoque total, que tenderam a aumentar em camadas mais profundas, com valores próximos a 90% (Figura 3). Isto porque a MO que se desloca para camadas mais profundas no perfil possui maior solubilidade, maior grau de humificação e apresenta elevada quantidade de cargas de superfície, que interagem com os minerais reativos das frações silte e argila e ficam retidos em profundidade (Tiessen & Stewart, 1983; Balabane & Plate, 2004), além de terem menor contribuição de MO particulada oriundas de serapilheira, raízes e hifas. Esta combinação de fatores faz com que o maior estoque de C e N esteja no compartimento da MO associada aos minerais, onde ocorre a maior estabilidade do C e N (Baldock & Skjemstad, 2000; Six et al., 2002a; Balabane & Plate, 2004).

Desta forma, cria-se um contraste no perfil entre ambos os compartimentos, pela liberação lenta e gradual dos compostos orgânicos oriundos da MO  $>53\ \mu\text{m}$  da camada superficial e posterior acúmulo nas camadas mais profundas na fração  $<53\ \mu\text{m}$  (Sá & Lal, 2009). Esse processo evidencia a dinâmica entre os compartimentos da MO do solo, em que a MO contida na fração  $>53\ \mu\text{m}$  é fonte de C e N para a fração  $<53\ \mu\text{m}$ .

#### **4.4. Relações entre estoques totais de C e N e estoques de C e N das frações $>$ e $< 53\ \mu\text{m}$**

Foi observado, neste estudo, que o aumento nos estoques totais de C e N do solo é diretamente proporcional ao aumento dos estoques de C e N nas frações  $>$  e  $< 53\ \mu\text{m}$  (Figura 4), ou seja, há um aumento linear para os estoques na fração areia ( $> 53\ \mu\text{m}$ ) e na fração silte+argila ( $< 53\ \mu\text{m}$ ), havendo tendência linear em todas as camadas. Este comportamento sugere que os sistemas avaliados ainda oferecem potencial em aumentar os estoques de C e N, a partir de incrementos em ambas as frações.

No entanto, o estoque de C e N em cada fração granulométrica do solo tende a apresentar saturação de forma diferenciada, pois segundo Balabane & Plate (2004) e Diekow et al. (2005), os minerais que predominam em cada fração granulométrica possuem diferenças quanto à área de superfície específica, à quantidade de cargas, e à capacidade de estabilizar a MO. Sendo assim, para estes autores, o aumento nos estoques de C e N na fração argila tende a saturar os sítios de superfície dos minerais, enquanto nas frações silte e areia, o aumento

tende a ter um comportamento linear. Dessa forma, em sistemas de cultivo de longa duração, o incremento de C e N estaria ocorrendo nas maiores frações granulométricas do solo, como observado por Diekow et al. (2005).

No caso da fração argila, a interação da MO com os minerais apresenta um limite máximo de saturação (Diekow et al., 2005), tendendo a uma capacidade finita dos estoques de C e N, que deve-se, principalmente, a duas situações. A primeira delas é que os compostos orgânicos presentes na fração argila apresentam maior tempo de residência, em função da forte interação organomineral. Por isso, em sistemas agrícolas com adição contínua de resíduos se caracterizam por ter quantidade de compostos orgânicos adicionados maiores que a quantidade perdida, não havendo sítios de cargas disponíveis para novas interações organominerais. A segunda situação refere-se aos tipos de ligação que ocorrem entre os compostos orgânicos e os minerais da fração argila, consistindo em interações químicas e físicas mais estáveis, que tendem a saturar ao longo do tempo (Six et al., 2002b; West & Six, 2007; Stewart et al., 2009). Estas interações referem-se às ligações de caráter eletrostático, covalente, partição hidrofóbica, força de Van der Waals e pontes de hidrogênio, importantes para aumentar a estabilidade da MO no solo (Baldock & Skjemstad, 2000; Balendest et al., 2000; Six et al., 2004). Na fração silte e areia, os estoques de C e N apresentam uma tendência linear (Diekow et al., 2005), pois os ganhos e as perdas são mais frequentes, ocorrendo quase que simultaneamente. Isto porque a MO associada a estas frações minerais é mais lábil, pois apresenta interações mais fracas se comparada com a fração argila, o que diminui a sua proteção no solo. Assim, estes compostos orgânicos são mais facilmente consumidos pela microbiota, liberando C e N pela respiração microbiana e/ou lixiviação dos compostos solúveis. As principais formas da MO nas frações silte e areia são coprólitos de minhocas, raízes finas ou hifas de fungos cuja interação com os minerais se dá através de ligações químicas e físicas fracas, ou ainda são ligações de caráter mecânico, que promovem menor estabilidade e tempo de residência da MO no solo (Tisdall & Oades, 1982; Dexter, 1988; Six et al., 2002a).

Neste estudo, como os estoques de C e N nas frações silte e argila foram avaliados conjuntamente (MO na fração <53 $\mu$ m), não foi possível perceber o comportamento acima descrito por Balabane & Plate (2004) e Diekow et al. (2005) para cada fração mineral do solo. O que se observou foi um crescimento linear no estoque de C e N nas frações silte + argila (fração <53 $\mu$ m), onde possivelmente o estoque na fração silte interferiu fortemente nestes resultados, por apresentar um comportamento intermediário entre os padrões das frações

argila e areia, ou seja, por conter porções de MO particulada e compostos orgânicos humificados (Diekow et al., 2005).

Foi observado, também, que os coeficientes de correlação de COT e NT com a MO da fração <53 µm tenderam a aumentar em profundidade (Figura 4). Isto em razão da diminuição da proporção de MO >53 µm e do aumento da proporção de MO na fração <53 µm em profundidade (Figura 3).

#### **4.5. Relação C/N da matéria orgânica total e das frações > e < 53 µm**

A relação C/N pode ser utilizada como indicador do grau de humificação da MO, sendo os valores entre 11,91 e 14,87, observados por Stevenson (1994), um reflexo da dominância de material mais humificado. O aumento da relação C/N em profundidade não é um comportamento comum para a maioria dos solos, uma vez que a MO tende a aumentar seu grau de humificação em profundidade e, conseqüentemente, diminuir a relação C/N.

Vale ressaltar que o aumento da relação C/N em profundidade pode ser pela presença de carbono pirogênico, mascarando o efeito da baixa relação C/N a partir da MO mais humificada (Silva & Vidal-Torrado, 1999; Silva et al., 2007), uma vez que este tipo de C tem a capacidade de se movimentar ao longo do perfil do solo (Rumpel & Kögel-Knabner, 2011) e possui um elevado grau de aromaticidade na sua estrutura (Knicker et al., 2006; Knicker, 2007). Fragmentos de carvão são de ocorrência comum em muitos solos tropicais, particularmente em Latossolos (Silva & Vidal-Torrado, 1999), como é o caso do solo da área experimental deste estudo. Um dos mecanismos mais discutidos para a estabilização do C e formação de C pirogênico, deve-se à utilização de fogo na agricultura para a limpeza das áreas, que converte parte do C orgânico em C recalcitrante com estruturas aromáticas (Silva & Vidal-Torrado, 1999; Knicker et al., 2006; Knicker, 2007). A quantidade e a idade dos fragmentos de carvão nos horizontes do solo estão relacionadas com sua gênese e com sua posição na vertente, sendo mais comuns em Latossolos que se encontram em topos de baixa declividade (Silva & Vidal-Torrado, 1999), como é o caso deste estudo.

Entre os compartimentos da MO, a relação C/N da fração >53 µm apresentou tendência de maiores valores, que podem estar relacionados com os seus componentes, que são compostos menos humificados, como resíduos parcialmente degradados de plantas, animais e hifas de fungos. Já a relação C/N da fração <53 µm está dentro da faixa proposta por Christensen (1992), para material com maior grau de humificação. De acordo com Feller & Beare (1997), frações da MO >20µm, compostos por resíduos de plantas em diferentes estágios de decomposição, podem ter uma relação C/N variando de 12 a 23; em frações

menores, esta variação pode ser de 10 a 21 (2-20 $\mu$ m) e 7 a 12 (<2 $\mu$ m), devido à presença de compostos mais humificados.

Na camada de 0-5 cm, a variação da relação C/N para a MO total foi influenciada, principalmente, pela maior variação no estoque do NT, uma vez que o estoque do COT não variou entre os sistemas de culturas (Tabela 6). Além disto, nesta camada todos os sistemas de culturas apresentam tendência a estocar MO mais humificada, uma vez que a relação C/N da MO ficou dentro da faixa proposta por Christensen (1992), isto devido às maiores proporções de C e N na fração associada aos minerais, em torno de 70% (Figura 3).

Os menores valores da relação C/N nos sistemas AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO deve-se aos maiores estoques de NT (Tabela 6), possivelmente afetada pela maior utilização de leguminosas no sistema trianual e pela utilização de uma leguminosa semiperene no sistema AL-MI. Já os maiores valores da relação C/N no sistema referência TR-SO e ER-MI-TR-SO devem-se ao menor estoque de NT, ocasionada pelas menores adições de N pelo sistema TR-SO (Santos et al., 2011) e pelas maiores perdas de N no sistema ER-MI-TR-SO pelo “efeito priming” (Kuzakov et al., 2000; 2002; Kalbitz & Kaiser, 2008; Sá & Lal, 2009).

A relação C/N da MO é alterada rapidamente, acarretada pelo nível de atividade da biomassa microbiana nos sistemas. Isto porque, com a adição recente de MO, há uma utilização rápida das fontes biodisponíveis de C e N, normalmente conduzida pela disponibilidade de N, e a MO remanescente tende a apresentar elevação da relação C/N. Assim, sistemas com baixa relação C/N da MO possivelmente apresentam adições frequentes de C e N prontamente disponíveis, podendo ser pelas raízes ou pela maior utilização de leguminosas, como os sistemas semiperene AL-MI e o trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO. Já nos sistemas com maior relação C/N (TR-SO e ER-MI-TR-SO), provavelmente houve um rápido consumo das fontes prontamente disponíveis de C e N e ausência de novas adições.

## 5. CONCLUSÕES

1. A hipótese de que os sistemas de culturas com variação no número e na alternância de espécies vegetais na rotação modificam a qualidade do solo por alterarem os estoques de C e N nos compartimentos físicos da MO foi aceita. Isto porque os sistemas de culturas em rotação apresentaram características distintas na quantidade, qualidade e forma de adição da MO ao solo;
2. O sistema de cultura AL-MI apresentou maior qualidade do solo em comparação ao sistema referência TR-SO. Mesmo ambos os sistemas apresentando duas culturas na

rotação, o sistema AL-MI adiciona mais resíduos orgânicos ao solo, principalmente pelo sistema radicular, o que favoreceu maiores estoques de NT e C e N nos compartimentos físicos da MO.

3. O sistema bianual ER-MI-TR-SO apresentou, no geral, a mesma capacidade de estoque de NT e C e N nas frações físicas da MO em relação ao sistema de sucessão de culturas TR-SO, indicando baixa capacidade do sistema bianual em melhorar a qualidade do solo, possivelmente favorecido pela ordenação das culturas na rotação.

## 6. LITERATURA CITADA

- ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G. & MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil & Tillage Research*, 94:101-108, 2007.
- BALDOCK, J.A. & SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31:697-710, 2000.
- BALABANE, M. & PLATE, A. F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. *European Journal of Soil Science*, 55: 415-427, 2004.
- BALESDENT, J. & BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 28:1261-1263, 1996.
- BALESDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 53:215-230, 2000.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research*, 77:137-145, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil & Tillage Research*, 53:95-104, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Science Society of American Journal*, 65:1473-1478, 2001.
- BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Madison: ASA, 1986. p.363-375.
- CAMBARDELLA, C.C. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of American Journal*, 56:777-783, 1992.

- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A., eds. Sustainable management of soil organic. Wallingford, CAB International, 2001. p.9-22.
- CARTER, M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94:38-47, 2002.
- CASTELLAZZI, M.S.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. Distribution of microbial biomass down soil profiles under regenerating woodland. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:1485-1489, 2004.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M. & CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, 64:83-99, 2007.
- CHEVALLIER, T.; BLANCHART, E.; ALBRECHT, A. & FELLER, C. The physical protection of soil organic carbon in aggregates: a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103:375-387, 2004.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, 20:1-90, 1992.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:777-788, 2005.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11:199-238, 1988.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant & Soil*, 268: 319-328, 2005.
- DUXBURY, J.J.; SMITH, M.S. & DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.33-67.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special, 35)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FAVERO, D; SCHEFFER-BASSO, D.M; DALL'AGNOL, M. & SECO, D. Desempenho de populações de alfafa sob desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37: 589-595, 2008.



- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116, 1997.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*, 66: 95-106, 2002.
- FREIRE, J.R.J. Fixação biológica de nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P., eds. *Microbiologia do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.121-155.
- GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, 5:29-56, 1996.
- HARTMANN, A.; SCHMID, M.; VAN TUINEN, D. & BERG, G. Plant-driven selection of microbes. *Plant & Soil*, 321: 235-257, 2009.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Ponta\\_Grossa.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm). Acesso em 24 de outubro de 2011.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; GREGORICH, E.G. & ELLERT, B.H. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., eds. *Soil Processes and the C Cycle*. Boca Raton, CRC Press, 1998. p. 57–80.
- KALBITZ, K. & KAISER, K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 171:52–60, 2008.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of American Journal*, 61:4-10, 1997.
- KARLEN, D.L.; DITZLER, C.A. & ANDREWS, S.S. Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114:145-156, 2003.
- KNICKER, H.; ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA, F.J.; GONZALES-PEREZ, J.A. & POLVILLO, O. Characteristic alterations of quantity and quality of soil organic matter caused by forest fires in continental Mediterranean ecosystems: A solid-state <sup>13</sup>C NMR study. *European Journal of Soil Science*, 57: 558-569, 2006.
- KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, 85: 91-118, 2007.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology & Biochemistry* 32:1485-1498, 2000.
- KUZYAKOV, Y. Review: factors affecting rhizosphere priming effects. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 165:382-396, 2002.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: DUMANSKI, J.; PUSHPARAJAH, E.; LATHAM, M. & MYERS, R., eds. *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. v.12, Thailand, Bangkok, 1991.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F.M. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:175-187 2004.

- MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M. R.; SIRTOLI, A. E.; SERRAT, B. M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L. de; MACHADO, M. A. de M.; MARQUES, R. & MOTTA, A. C. V., eds. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003. p. 81-102
- MOLIN, R. Subsistemas de produção em plantio direto: explorando alternativas econômicas rentáveis para o inverno. Fundação ABC, Castro, 2008. 104 pp.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do Solo. 2.ed.. Lavras, UFLA, 2006. p.449 -541.
- OADES, J.M. An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils. In: ZEPP, R.G. & SONNTAG, C., eds. Role of non living organic matter in the earth's carbon cycle. New York, John Wiley, 1995. p.55-94.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C & DIGNAC, M. O. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant & soil*, 269:341-356, 2005.
- RUMPEL, C. & KÖGEL-KNABNER, I. Deep soil organic matter - a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant & Soil*, 338: 143-158, 2011.
- SÁ, J. & LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research*, 103:46-56, 2009.
- SANTOS, N.Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. & PIVA, J.T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil & Tillage Research*, 111: 208-218, 2011.
- SILVA, A.C. & VIDAL-TORRADO, P. Gênese dos Latossolos húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:329-341, 1999.
- SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, M.G.; MARTIN-NETO, L. & VASQUEZ, F.P. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequência de latossolos do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1059-1068, 2007.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 76: 39-58, 2004.
- SIX, J., ELLIOTT, E.T. & PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 2099-2103, 2000.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M. & SA, M.J.C. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie*, 22: 755-775, 2002a.
- SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant & Soil*, 241:155-176, 2002b.

- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79: 7-31, 2004.
- STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F. & SIX, J. Soil carbon saturation: implications for a measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:357-366, 2009.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York, John Wiley, 1994. 496p.
- SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, 87:194-204, 2006.
- TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on soil organic matter composition in size fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 47:509-514, 1983.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33:141-163, 1982.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:743-755, 2009.
- VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. & SIX, J. Building up organic matter in a subtropical paleudult under legume cover-crop-based rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 73:1699-1706, 2009.
- WEBER, M. A. & MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:429-437, 2009.
- WEST, T.O. & SIX, J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*, 80:25-41, 2007.
- XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVIERA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:247-258, 2006.
- ZANATTA, J.A.; BAYER, C. DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B. & MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil & Tillage Research*, 94: 510-519, 2007.

# CAPITULO III: QUALIDADE DO SOLO DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO AVALIADA POR INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Autor: Bruna Raquel Winck

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nerilde Favaretto

## RESUMO

Sistemas de culturas em plantio direto associados à variação no número e na alternância de plantas na rotação tem capacidade de promover alterações na quantidade, qualidade e forma de adição da matéria orgânica ao solo, podendo afetar diretamente os atributos microbiológicos e, por sua vez, a qualidade do solo nestes sistemas. As alterações podem ocorrer no conteúdo da biomassa microbiana e nos seus níveis de atividade no solo, como também na eficiência da utilização das fontes de energia e nutrientes. O objetivo deste trabalho foi estudar sistemas de culturas com variação no número e na alternância de plantas na rotação que melhor favoreça os indicadores microbiológicos e, consequentemente, promova maior qualidade do solo. O experimento está instalado na Estação Experimental da Fundação ABC de Ponta Grossa/PR, há 21 anos, com delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições e seis sistemas de culturas: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, sendo TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* L.); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). As coletas de solo foram feitas em novembro de 2010 (primavera) e junho de 2011 (outono) na profundidade de 0-5 cm. Utilizou-se o método de fumigação-incubação para avaliação de C e N da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub> e N<sub>mic</sub>) e o método de incubação para estimar a atividade microbiana e a mineralização da matéria orgânica do solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Para a maioria dos indicadores microbiológicos, os valores obtidos na primavera foram superiores em relação ao outono. Entre os sistemas, somente no outono houve variação, onde a atividade microbiana foi superior no sistema AL-MI (1,00 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e inferior no ER-MI-AV-SO-TR-SO (0,63 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), porém ambos apresentaram baixos valores de quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), com 2,10 e 2,78 mg C-CO<sub>2</sub> g C<sub>mic</sub> h<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando eficiência na assimilação de C. No sistema AL-MI, foi observado alto teor de N<sub>mic</sub> (124,88 mg kg<sup>-1</sup>) e os demais sistemas apresentaram valores similares (variação de 56,30 a 84,33 mg kg<sup>-1</sup>), que indica maior capacidade de imobilizar N na biomassa microbiana. No entanto, mesmo com variações em alguns indicadores, de modo geral, todos os sistemas apresentaram a mesma capacidade de reter C e N na sua biomassa, bem como de utilizar eficientemente as fontes de energia e nutrientes do solo, e, por isso, apresentaram condição similar de qualidade do solo.

**Palavras-Chave:** alternância de plantas; número de plantas; matéria orgânica do solo; biomassa microbiana do solo; atividade microbiana.

### CHAPTER III: SOIL QUALITY IN NO TILL CROP ROTATION SYSTEMS EVALUATED BY MICROBIOLOGICAL INDICATORS

Author: Bruna Raquel Winck

Advisor: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fabiane Machado Vezzani

Co- Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co- Advisor: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nerilde Favaretto

#### ABSTRACT

Culture systems in tillage associated with variation in quantity and alternation of plants rotation causes changes in the quantity, quality and form of addition of organic matter in soil, the attributes affecting directly microbiological and, in turn, soil quality in these systems. The changes occur on the contents of microbial biomass and activity levels in the soil, but also the efficient use of energy and nutrient sources. The objective of this study was to identify the cropping system with variation in the quantity of plants and alternation in the rotation that best promotes the microbiological indicators and thus promote greater soil quality. The experiment is installed at the Experimental Station of the Fundação ABC, of Ponta Grossa/PR, 21 years ago, experimental design of randomized blocks with six cropping systems: TR-SO; ER-MI-AV-SO-TR-SO; ER-MI-TR-SO; AV-MI-TR-SO; AZ-MI-AZ-SO; AL-MI, as follows: TR: Wheat (*Triticum aestivum* L.) SO: soybean (*Glycine max* L.) ER: vetch (*Vicia villosa* Roth) MI: corn (*Zea mays* L.), AV: oats (*Avena strigosa* Schreb.) AZ: ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam), AL: alfalfa (*Medicago sativa* L.). and four repetitions, valued at two times collection (spring and fall). We used the fumigation-incubation method for evaluation of microbial biomass, the method of incubation for evaluation of microbial activity and soil organic matter mineralization. The results were submitted to ANOVA and when significant, means were compared by Tukey test at 5% significance level. For most of microbiological indicators, the values were higher in spring compared to autumn. Among the systems, only there was variation in the fall, where microbial activity was higher in the AL-MI (1.00 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) system and lower ER-MI-AV-SO-TR-SO (0.63 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), but both showed low values of metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>), with 2.10 and 2.78 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup>, respectively, indicating the assimilation efficiency of C. In AL-MI system, observed a high value of Nmic (124.88 mg kg<sup>-1</sup>) and the others had similar values (ranging from 56.30 to 84.33 mg kg<sup>-1</sup>), indicating greater ability to immobilize N in microbial biomass. However, even with variations in some indicators, generally all systems showed the same ability to retain carbon and nitrogen in the biomass, and to efficiently utilize the power supply and nutrients from the soil, and therefore had condition similar soil quality.

**Keywords:** alternation of plants; quantity of plants; soil organic matter; soil microbial biomass; microbial activity.

## 1. INTRODUÇÃO

Qualidade do solo é um tema amplamente discutido na comunidade científica mundial, devido à relação entre o manejo do solo, a degradação do ambiente e a agricultura sustentável (Lal & Pierce, 1991). Para Doran & Parkin (1994), a qualidade do solo está relacionada com a capacidade de seu funcionamento dentro de ecossistemas naturais e agrícolas, sustentando a produtividade e a diversidade biológica, mantendo a qualidade do ar e da água e promovendo a saúde às plantas, animais e homens. Qualidade do solo é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que aumentam a sustentabilidade dos sistemas (Vezzani & Mielniczuk, 2009), propiciando seu uso e manejo para fins agrícolas.

Diversos atributos biológicos, físicos e químicos são sugeridos para avaliar e monitorar a qualidade do solo, onde se destacam os primeiros, em função da sua sensibilidade em detectar modificações na condição do solo pelas variações de manejo e/ou de clima. Além disso, os atributos biológicos estão diretamente relacionados aos processos fisicoquímicos do solo (Doran & Safley, 1997; Anderson, 2003). De modo geral, a qualidade do solo analisada pelos indicadores biológicos está associada com a quantidade de C e N na biomassa microbiana, devido à sua função de reservatório de nutrientes; à sua eficiência na utilização de energia e nutrientes, evitando perdas de elementos do ambiente; à capacidade de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), a fim de disponibilizar energia e nutrientes para os microrganismos; e, por fim, à capacidade da biomassa atuar ativamente sobre compostos e elementos que possam prejudicar o ecossistema (Anderson, 2003; Schlöter et al., 2003; Anderson & Domsch, 2010). Dentre os indicadores biológicos propostos, destacam-se os teores de C e N da biomassa microbiana ( $C_{mic}$  e  $N_{mic}$ ) e indicadores ecofisiológicos como o quociente microbiano ( $qMIC$ ), a respiração basal do solo (RBS), o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), o potencial de mineralização de C (PMC) e a mineralização líquida de N (MLN).

A biomassa microbiana é a fração ativa da MOS, compondo cerca de 2 a 5 % do carbono orgânico total (Jenkinson & Ladd, 1981) e 1 a 5 % do nitrogênio orgânico total (Smith & Paul, 1990). A sua magnitude é proporcional ao aumento da quantidade e qualidade da MOS. Representa um considerável reservatório de C, N, P e S e atua na transformação bioquímica da MOS, ciclagem de nutrientes e biodegradação de compostos prejudiciais, respondendo rapidamente às variações do manejo e do ambiente (Schlöter et al., 2003; Xavier et al., 2006). É composta, principalmente, por bactérias e fungos, onde a predominância destas populações pode ser observada pela sua relação C/N, em que valores próximos a 5

indicam predomínio de bactérias; e valores entre 8 e 10 indica predomínio de fungos (Li et al., 2003; 2004). O  $qMIC$ , que é a relação entre o  $C_{mic}$  e o carbono orgânico total do solo (COT), é um importante índice que reflete os processos de conversão do C da MOS em  $C_{mic}$ . A sua variação está relacionada com a qualidade nutricional da MOS, que se refere à disponibilidade de energia e nutrientes para microbiota e para os demais organismos. O  $qMIC$  também está associado às variações nas condições limitantes no solo, que diminuem a capacidade de utilização de energia e nutrientes pela microbiota para aumento de biomassa (Sparling, 1992; Franzluebbers et al., 2001).

A RBS, o  $qCO_2$ , o PMC e o MLN refletem a atividade da comunidade microbiana heterotrófica. São indicadores ecofisiológicos que visam compreender os processos relacionados à decomposição da MOS, à ciclagem e disponibilização de nutrientes às plantas e aos microrganismos. A interpretação dos valores da RBS, do PMC e do MLN deve ser feita com critério, pois valores altos de RBS e mineralização podem significar, em curto prazo, liberação de nutrientes às plantas, porém em longo prazo, podem refletir a perda de elementos do sistema, principalmente C e N (Anderson, 2003; Addiscott, 2010; Anderson & Domsch, 2010). Por isto, faz-se necessário associar RBS, PMC e MLN ao índice  $qCO_2$ , que avalia a eficiência da microbiota na assimilação de C orgânico. Assim, uma biomassa microbiana eficiente em assimilar C é inversamente proporcional à perda de C, a partir da respiração microbiana (Anderson, 2003), sendo um importante critério na avaliação de qualidade do solo.

O sistema de plantio direto é uma estratégia significativa na busca de práticas de manejo que incrementem a qualidade dos solos agrícolas (Diekow et al., 2005; Santos et al., 2011). Isto em função da ausência de preparo e manutenção dos resíduos sobre o solo, bem como pela maior quantidade e qualidade de material orgânico adicionado pelo uso de sistemas de culturas em rotação. Sistemas de culturas em rotação podem variar conforme o número e a alternância de espécies vegetais e, estas variações promovem modificações na qualidade do solo (Franzluebbers, 2002; Anderson, 2003; Anderson & Domsch, 2010), pelas alterações que podem ocorrer na quantidade e na atividade da biomassa microbiana, bem como na eficiência de utilização de energia e nutrientes pela microbiota. Estas alterações na qualidade do solo em diferentes sistemas de culturas podem ser visualizadas, quando nos modelos de rotações são considerados aspectos relativos à proporção de gramíneas e leguminosas; ordenação das culturas; utilização de plantas de cobertura, principalmente gramíneas de maior recalcitrância; e culturas com elevada produção de fitomassa, tanto pela parte aérea como pelo sistema radicular (Janzen et al., 1998).

Portanto, tem-se como hipótese que sistemas de culturas em plantio direto com variação no número e na alternância de plantas na rotação têm potencial em alterar a qualidade do solo pelas modificações na quantidade, qualidade e forma de adição de resíduos orgânicos ao solo, o que modifica os atributos microbiológicos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi identificar os sistemas de culturas em rotação com variação no número e na alternância de espécies vegetais que melhor favoreça os indicadores microbiológicos e que promova maior qualidade do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área experimental, Delineamento Experimental e Tratamentos**

A área experimental está localizada no Centro de Experimentação para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária da Fundação ABC, município de Ponta Grossa/PR. A localização geográfica é 25°00'35"S e 50°09'16"N, com altitude de 890 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido, mesotérmico, do tipo Cfb. Os verões são frescos, as geadas são frequentes no inverno e a temperatura média no mês mais quente é menor que 24,1°C e do mês mais frio menor que 13,3°C, sendo a média anual 17,8°C. A precipitação média anual é de 1554 mm e a média da umidade relativa do ar é de 77,2% (IAPAR, 2011).

A pesquisa foi conduzida em um experimento de longa duração, instalado desde o inverno de 1989 em plantio direto com diferentes sistemas de rotações de culturas. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições e seis tratamentos, que estão descritos na Tabela 1.

Para testar a hipótese, utilizou-se um sistema de sucessão de culturas (TR-SO), com duas culturas e ausência de alternância de espécies vegetais, como referência para a comparação dos indicadores avaliados. Os demais sistemas estudados apresentam variação no número de plantas na rotação, caracterizando modelos de rotação anual, bianual e trianual, e variação de espécies vegetais em alternância na rotação.

O solo do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, A Moderado (Embrapa, 2006), com declividade plana suave ondulada e textura argilosa (Tabela 2). Na Tabela 3 encontra-se a caracterização química do experimento após 21 anos de condução dos sistemas em plantio direto.



Tabela 1. Identificação dos tratamentos (sistemas de culturas), tipo de rotação, resíduo da cultura no momento da coleta e relação gramínea/leguminosa no tempo, em sistema de plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1, 2</sup> (espécies vegetais em alternância)	Tipo de rotação	Número de Plantas	Resíduo da cultura (Primavera)	Resíduo da Cultura (Outono)	Adição de	Adição	Adição
					C - parte aérea <sup>6</sup>	de C - raízes <sup>6</sup>	total de C <sup>6</sup>
					-----	Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	-----
TR-SO	anual	2	Trigo	Soja	3,78	1,91	5,69
ER-MI-AV-SO-TR-SO	trianual	6	Aveia	Soja	5,17	2,09	7,26
AV-MI-TR-SO	bianual	4	Trigo	Soja	5,56	2,02	7,58
ER-MI-TR-SO	bianual	4	Trigo	Soja	6,2	2,36	8,56
AZ <sup>4</sup> -MI-AZ-SO	bianual	4	Azevém	Soja	5,33	3,11	8,44
AL-MI	Semiperene	2	Alfafa <sup>3</sup>	Alfafa <sup>3</sup>	2,78	4,74	7,52

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.); 2) Adubação nitrogenada para a cultura do trigo (220 kg ha<sup>-1</sup> de uréia e 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 14-34-00) e para a cultura do azevém (110 kg ha<sup>-1</sup> de uréia e 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 12-32-00) na safra de inverno de 2010; 3) Cultura da alfafa permanece em desenvolvimento num período de 2,5 anos, com 7 a 8 cortes anuais; 4) Após ultimo corte do azevém, utilizado para pastejo, há rebrota da culturas e posteriormente realizado uma dissecação; 5) Relação G/L = relação do número de espécies vegetais Gramínea e Leguminosas; 6) Adição de carbono pelos diferentes modelos de rotação de culturas, no ano de 2006, obtidos por Santos et al.(2011).

Tabela 2. Análise granulométrica, na profundidade de 0-20 cm, umidade gravimétrica e densidade do solo, na profundidade de 0-5 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	Granulometria <sup>2</sup>			Umidade gravimétrica <sup>2</sup>		Densidade <sup>2</sup>
	Areia	Silte	Argila	Novembro 2010	Junho 2011	
	-----	g kg <sup>-1</sup>	-----	-----	%	-----
TR-SO	442	109	450	23,49	25,26	1,03
ER-MI-AV-SO-TR-SO	446	104	450	27,12	25,97	0,96
ER-MI-TR-SO	454	96	450	24,30	23,55	0,96
AV-MI-TR-SO	448	102	450	23,16	21,30	1,04
AZ-MI-AZ-SO	448	102	450	21,64	22,38	0,93
ALMI	454	96	450	20,17	16,44	0,93

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.); 2) Determinados conforme Embrapa (1997).

Tabela 3. Atributos químicos do solo na profundidade de 0-5 cm, nos sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	pH	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	SB	CTC	V%
	CaCl <sub>2</sub>	SMP	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								
TR-SO	5,7	6,4	-	3,7	5,7	2,9	0,73	38,1	9,3	13,0	71,6
ER-MI-AV-SO-TR-SO	5,4	6,1	-	4,6	5,4	2,4	0,81	24,4	8,6	13,2	65,2
ER-MI-TR-SO	5,5	6,3	-	4,0	4,7	2,8	0,67	52,2	8,2	12,2	67,1
AV-MI-TR-SO	5,2	5,9	-	5,4	5,1	2,0	0,64	23,6	7,7	13,1	58,9
AZ-MI-AZ-SO	5,2	5,9	-	5,4	5,2	3,0	0,51	52,2	8,7	14,1	61,7
AL-MI	5,1	5,8	-	5,8	5,4	1,2	0,82	197,2	7,4	13,2	56,1

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.). Atributos químicos determinados conforme Marques & Motta (2003).

## 2.2. Época de amostragem, coleta e preparo das amostras de solo

As coletas de solo foram realizadas em 06 de novembro de 2010 (primavera de 2010) e 02 de junho de 2011 (outono de 2011) [Figura 1]. As médias de temperatura e precipitação foram de 165 mm e 17,02°C na primeira coleta e 34,40 mm e 14,90°C para a segunda coleta.

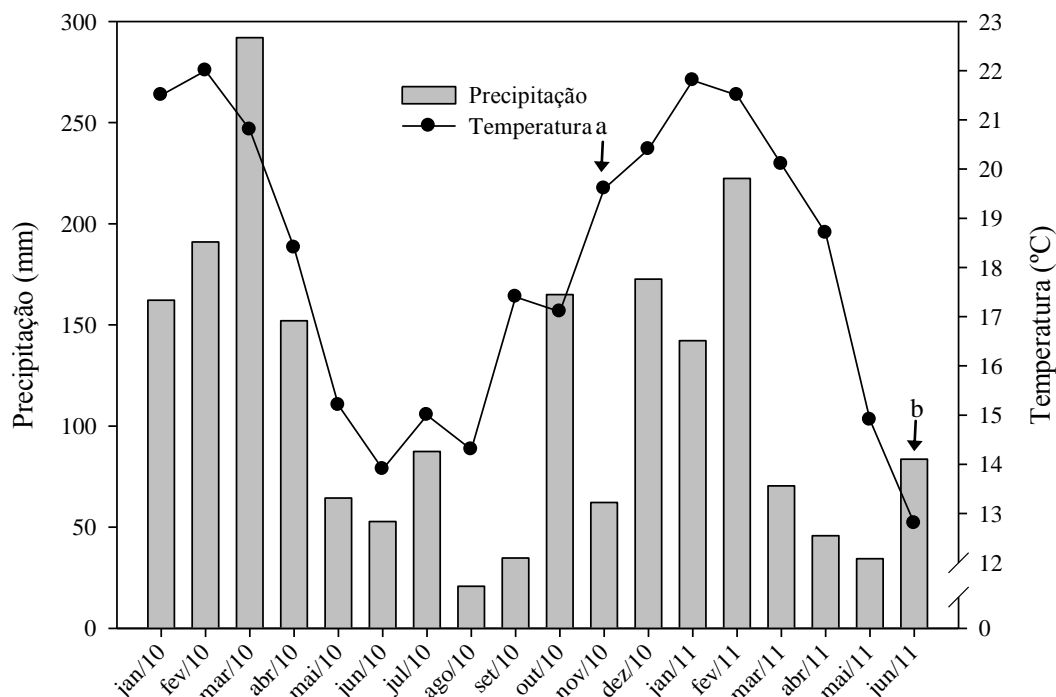


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal em Ponta Grossa / PR, Fundação ABC. Dados fornecidos pelo SIMEPAR, Curitiba/PR. a: coleta de solo - primavera de 2010; b: coleta de solo - outono de 2011.

As coletas foram realizadas na profundidade de 0-5 cm em 20 pontos por parcela, nas linhas e entrelinhas. As amostras foram acondicionadas em isopor para o deslocamento até o laboratório, onde ficaram armazenadas a  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  até o início dos procedimentos analíticos. Para caracterização física e química do solo, subamostras foram retiradas e processadas em terra fina seca ao ar (TFSA).

## 2.3. Avaliações

**C e N da biomassa microbiana (Cmic e Nmic):** foram determinados pelo método de fumigação-incubação, conforme proposto por Jenkinson & Powlson (1976) com adaptações de Lisboa (2009). Para Cmic foi utilizado o fator de conversão  $kC = 0,45$  (Anderson & Domsch, 1978) e para Nmic,  $kN = 0,57$  (Jenkinson, 1988).

**Indicadores ecofisiológicos:** O quociente microbiano ( $qMIC$ ) foi calculado de acordo com Sparling (1992), que consiste na porcentagem de Cmic em relação ao COT. A respiração basal do solo (RBS) - atividade microbiológica - foi determinada pela quantificação do  $\text{CO}_2$  emitido em 10 dias de incubação e capturado em solução de  $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ , segundo

método proposto por Anderson (1982). A taxa de respiração específica, ou seja, o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), foi calculado pela razão entre a RBS e o  $\text{C}_{mic}$  (Anderson & Domsch, 1993).

**Mineralização de C e N:** foi utilizado o método proposto por Franzluebbers et al. (1996) para determinação do potencial de mineralização de C ( $\text{PMC}_{30d}$ ), onde as determinações foram realizadas em 10 e 30 dias de incubação para obter liberação acumulada de C- $\text{CO}_2$ , com quantificação do  $\text{CO}_2$  emitido e capturado em solução de NaOH 1 mol  $\text{L}^{-1}$ . Para mineralização líquida de N ( $\text{MLN}_{30d}$ ), foi utilizado o método de Bundy & Meisinger (1994) com determinação de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) do solo por colorimetria, em 0 e 30 dias de incubação. A mineralização líquida de N consiste no teor de N mineral em 30 dias subtraindo-se os teores já presentes no solo (0 dias).

**Análise química:** Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca em analisador elementar Vario El III – elementar®.

## 2.4. Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa ASSISTAT. Os resultados foram submetidos à análise de variância – ANOVA - e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A variável “época de coleta” foi analisada como subparcela.

Foi realizada Correlação Simples de Pearson (BIOSTAT) e análise de componentes principais (CANOCO 4.5) entre COT, NT, densidade, umidade do solo e indicadores microbiológicos para as duas épocas de coleta.

## 3. RESULTADOS

Os resultados de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e dos indicadores microbiológicos do solo encontram-se apresentados na Tabela 4.

### 3.1. Carbono e nitrogênio total do solo

Os teores de COT não variaram estatisticamente entre os sistemas, nem entre as duas épocas de coleta, com uma média de 35,53 g C  $\text{kg}^{-1}$  na primavera e 35,88 g C  $\text{kg}^{-1}$  no outono. Os sistemas variaram de 32,68 a 37,45 g C  $\text{kg}^{-1}$  e 34,04 a 37,76 g C  $\text{kg}^{-1}$ , respectivamente para primavera e outono. Os teores de NT também não variaram entre as épocas de coleta, com média de 2,80 e 2,88 g N  $\text{kg}^{-1}$  para primavera e outono, respectivamente. Porém, entre os

sistemas houve variação na primavera, com maior teor no sistema semiperene AL-MI (3,12 g N kg<sup>-1</sup>), menor, no sistema bianual ER-MI-TR-SO (2,57 g N kg<sup>-1</sup>) e os demais sistemas obtiveram teores intermediários. No outono, os sistemas variaram em NT de 2,71 a 3,01 g N kg<sup>-1</sup> solo.

### **3.2. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, relação C/N microbiana e quociente microbiano do solo**

Os teores de C<sub>mic</sub> diferiram estatisticamente entre as duas épocas de coleta, com média de 561,64 mg C kg<sup>-1</sup> e 364,20 mg C kg<sup>-1</sup>, para primavera e outono, respectivamente. Entre os sistemas não houve diferença estatística em nenhuma das épocas, com variação de 537,75 a 595,97 mg C kg<sup>-1</sup> na primavera e 332,72 a 401,75 mg C kg<sup>-1</sup> no outono.

Quanto ao N<sub>mic</sub>, também houve diferença estatística entre as épocas com média de 134,51 mg N kg<sup>-1</sup> para primavera e de 80,53 mg N kg<sup>-1</sup> para o outono. Exceção para o sistema semiperene AL-MI, que não variou entre épocas com valores de 146,45 mg N kg<sup>-1</sup> na primavera e 124,88 mg N kg<sup>-1</sup> no outono. Entre os sistemas, não houve diferença na primavera, com variação entre sistemas de 125,33 a 149,97 mg N kg<sup>-1</sup>. No outono, houve diferença estatística entre sistemas, sendo o sistema semiperene AL-MI superior (124,88 mg N kg<sup>-1</sup>) em relação aos demais, que variaram entre 56,30 a 84,33 mg N kg<sup>-1</sup>.

A relação C/N da biomassa microbiana não variou entre as épocas de coleta, exceto para o sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO. Os valores médios da relação C/N foram de 4,28 na primavera e 5,17, no outono. Entre os sistemas, não houve variação da relação C/N na primavera, mas no outono, o sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO apresentou o maior valor (7,62) e os sistemas semiperene AL-MI e anual TR-SO, os menores valores (3,16 e 4,31, respectivamente). Os demais sistemas apresentaram valores intermediários de relação C/N entre 4,80 e 6,11.

O indicador *q*<sub>MIC</sub> teve variação entre as duas épocas de coleta, com maior valor na primavera (1,60) em relação ao outono (1,02). No entanto, não houve diferença estatística entre os sistemas nas duas épocas estudadas. Os valores variaram entre 1,53 a 1,63 na primavera, e 0,89 a 1,12 no outono.

### **3.3. Atividade microbiana do solo**

#### **3.3.1. Respiração basal do solo e quociente metabólico**

A RBS variou entre as épocas de coleta, com valores médios de 1,52 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, na primavera e 0,82 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no outono. Entre os sistemas, não houve variação na

primavera, com valores entre 1,42 a 1,58 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; e houve variação no outono, com maior valor no sistema semiperene AL-MI (1,00 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e menor no sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO (0,63mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), sendo os demais sistemas com valores intermediários entre 0,73 a 0,89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

O  $q\text{CO}_2$  variou entre épocas somente para o sistema bianual AZ-MI-AZ-SO, sendo o valor de 3,15 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup> na primavera, e 2,01 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup> no outono. A média dos valores de  $q\text{CO}_2$  nas épocas foi de 2,79 e 2,36 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup>, para primavera e outono, respectivamente. Entre os sistemas, a variação foi de 2,60 a 3,15 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup> na primavera e 2,01 a 2,78 mg C-CO<sub>2</sub> g Cmic h<sup>-1</sup> no outono.

### 3.3.2. Potencial de mineralização de carbono e mineralização líquida de nitrogênio

Quanto ao PMC<sub>30d</sub>, houve variação entre as duas épocas de coleta, com valores médios de 541,27 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> na primavera e 232,89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> no outono. Porém, não foi observada diferença estatística entre os sistemas em cada época avaliada. A variação na primavera foi de 484, 15 a 597,26 89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> e no outono foi de 185,07 a 265,18 89 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

O MLN<sub>30d</sub> foi maior na primavera em comparação ao outono, com valores médios de 239,10 mg N kg<sup>-1</sup> e 45,60 mg N kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre os sistemas, foi observada diferença na coleta da primavera, com maior MLN<sub>30d</sub> no sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO (387,29 mg N kg<sup>-1</sup>) e menor nos sistemas bianuais AV-MI-TR-SO e AZ-MI-AZ-SO (187,13 e 120,09 mg N kg<sup>-1</sup>). Os demais sistemas apresentaram valores intermediários entre 201,42 e 296,49 mg N kg<sup>-1</sup>. Em complemento a este indicador, os teores de N mineral foram determinados, onde, de forma geral, os valores foram menores na primavera (média de 24,00 mg N kg<sup>-1</sup>) em relação ao outono (média de 37,18 mg N kg<sup>-1</sup>). Exceção ao sistema semiperene AL-MI com menor valor no outono (5,46 mg N kg<sup>-1</sup>) e maior na primavera (28,16 mg N kg<sup>-1</sup>). Entre os sistemas, houve diferença somente na coleta do outono, com valor superior no sistema bianual AZ-MI-AZ-SO (62,43 mg N kg<sup>-1</sup>), inferior no sistema semiperene AL-MI (5,46 mg N kg<sup>-1</sup>), e os demais sistemas variaram entre 28,35 a 51,96 mg N kg<sup>-1</sup>.

Tabela 4. Carbono orgânico total, nitrogênio total e indicadores microbiológicos, na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas <sup>1</sup>	Matéria orgânica do solo		Composição da biomassa microbiana				Atividade microbiana				N mineral
	COT <sup>2</sup>	NT	Cmic	Nmic	C/N microbiano	qMIC	RBS	qCO <sub>2</sub>	PMC <sub>30d</sub>	MLN <sub>30d</sub>	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>		%	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> g Cmic h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
Primavera - novembro de 2010 <sup>3</sup>											
TR-SO	35,04 <sup>ns</sup> A	2,67 abA	579,71 <sup>ns</sup> A	125,59 aA	4,72 aA	1,66 <sup>ns</sup> A	1,49 aA	2,61 <sup>ns</sup> A	549,49 <sup>ns</sup> A	296,49 bA	23,44 aB
ER-MI-AV-SO-TR-SO	36,84 A	2,94 abA	570,64 A	149,97 aA	3,82 aB	1,58 A	1,54 aA	2,77 A	597,26 A	387,29 aA	28,53 aB
ER-MI-TR-SO	32,68 A	2,57 bA	529,98 A	128,18 aA	4,18 aA	1,64 A	1,50 aA	2,98 A	547,65 A	206,09 bA	21,68 aB
AV-MI-TR-SO	35,93 A	2,76 abA	555,79 A	125,33 aA	4,62 aA	1,55 A	1,42 aA	2,60 A	484,15 A	187,13 cA	21,08 aA
AZ-MI- AZ-SO	35,21 A	2,71 abA	537,75 A	131,54 aA	4,26 aA	1,53 A	1,55 aA	3,15 A	527,78 A	120,09 cA	21,03 aB
AL-MI	37,45 A	3,12 aA	595,97 A	146,45 aA	4,08 aA	1,60 A	1,58 aA	2,66 A	582,54 A	201,42 bA	28,16 aA
Outono - junho de 2011											
TR-SO	34,59 <sup>ns</sup> A	2,77 aA	342,57 <sup>ns</sup> B	84,33 bB	4,31 bA	1,01 <sup>ns</sup> B	0,89 abB	2,61 <sup>ns</sup> A	252,49 <sup>ns</sup> B	39,12 aB	40,37 bcA
ER-MI-AV-SO-TR-SO	37,76 A	3,01 aA	332,72 B	56,30 bB	7,62 aA	0,89 B	0,63 bB	2,10 A	185,07 B	41,80 aB	51,96 abA
ER-MI-TR-SO	34,04 A	2,71 aA	377,06 B	66,22 bB	6,11 abA	1,12 B	0,89 abB	2,44 A	246,32 B	44,25 aB	34,50 cA
AV-MI-TR-SO	37,19 A	2,94 aA	340,00 B	71,41 bB	4,80 abA	0,92 B	0,73 abB	2,23 A	219,79 B	51,47 aB	28,35 cA
AZ-MI- AZ-SO	36,17 A	2,88 aA	401,75 B	80,03 bB	5,03 abA	1,11 B	0,79 abB	2,01 B	228,51 B	51,08 aA	62,43 aA
AL-MI	35,54 A	2,99 aA	391,11 B	124,88 aA	3,16 bA	1,04 B	1,00 aB	2,78 A	265,18 B	45,90 aB	5,46 dB
Coefficiente de variação (%)	7,99	8,98	15,09	16,09	25,64	16,55	10,89	20,85	12,16	32,53	13,01
Médias dos sistemas											
PRIMAVERA – NOVEMBRO DE 2010	35,53 A	2,80 A	561,64 A	134,51 A	4,28 B	1,60 A	1,52 A	2,79 A	541,27 A	239,1 A	24,00 B
OUTONO – JUNHO DE 2011	35,88 A	2,88 A	364,20 B	80,53 B	5,17 A	1,02 B	0,82 B	2,36 A	232,89 B	45,6 B	37,18 A
Coefficiente de variação (%)	7,5	8,11	10,25	30,25	28,77	11,33	13,04	20,74	18,63	34,69	23,46

1) TR: Trigo (*Triticum aestivum* L.); SO: soja (*Glycine max* (L.) Merr); ER: ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); MI: milho (*Zea mays* L.); AV: aveia (*Avena strigosa* Schreb.); AZ: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); AL: alfafa (*Medicago sativa* L.); 2) COT = carbono orgânico total; NT = nitrogênio total; Cmic = carbono da biomassa microbiana; Nmic = nitrogênio da biomassa microbiana; C/N microbiana = relação C/N da biomassa microbiana do solo; qMIC = quociente microbiano; RBS = respiração basal do solo; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; PMC<sub>30d</sub> = potencial de mineralização de carbono em 30 dias; MLN<sub>30d</sub> = mineralização líquida de nitrogênio em 30 dias; 3) Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre sistemas pelo Teste de Tukey a 5%. Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre épocas de coleta pelo Teste de Tukey a 5%. Médias seguidas de ns não diferem estatisticamente pelo teste F (ANOVA).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Carbono e nitrogênio total do solo

O COT e o NT são os principais componentes da MOS e as principais fontes de energia e nutrientes para a maioria dos organismos edáficos (Bayer et al., 2000). A ausência de variação destes componentes entre as épocas de coleta deve-se à proteção, ao tempo de residência e à estabilidade estrutural da MOS (Six et al., 2002), que são pouco afetados em períodos curtos de avaliação em sistemas de plantio direto. A MOS nos sistemas de plantio direto encontra-se protegida, principalmente, no interior dos agregados e associada aos minerais. Esta proteção da MOS dificulta o acesso da biota aos compostos orgânicos e, por sua vez, promove um acúmulo COT e NT no solo (Six et al., 2002; Diekow et al., 2005).

Entre os sistemas, a variação somente nos teores de NT na primavera deve-se, possivelmente, a diversos mecanismos relacionados com a transformação, a entrada e a perda de N no solo (Lovato et al., 2004), que podem ser estimulados e intensificados neste período, devido a maior temperatura e umidade. As variações do ambiente afetam as reações fisiológicas dos microrganismos, assim como modificam condições físicoquímicas do solo, como volume, potencial de oxirredução, pressão, difusão, viscosidade, estrutura da água, tensão superficial e movimento Browniano (Moreira & Siqueira, 2006), o que pode alterar a taxa de mineralização da MOS e, por sua, vez os teores de NT.

No sistema referência TR-SO, o baixo teor de NT na primavera foi diretamente influenciado pela baixa adição de material orgânico,  $5,69 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Santos et al., 2011), provavelmente devido ao menor número de espécies vegetais dentro da rotação, onde há sucessão anual de uma gramínea (trigo) e uma leguminosa (soja), e pela ausência de culturas para fins de cobertura e com elevada produção de fitomassa.

Entre os sistemas de culturas em rotação, o menor teor de NT no sistema ER-MI-TR-SO, com valores próximos ao sistema de referência, está associado, possivelmente, a maior decomposição da MOS pela inserção de duas leguminosas (soja e ervilhaca) de baixa relação C/N em safras consecutivas a cada dois anos. Mesmo com elevadas adições de resíduos no sistema (Santos et al., 2011) [Tabela 1], este modelo de ordenação de plantas na rotação favorece a decomposição dos resíduos remanescentes de milho e trigo das duas safras anteriores, diminuindo o acúmulo de N na superfície. Parte do N desta matéria orgânica decomposta pode estar sendo perdida do sistema pela percolação de compostos solúveis e humificados, se acumulando em profundidade (Franzluebber et al., 2002; Kalbitz & Kaiser, 2008), ou sendo perdidos por volatilização (Addiscott, 2010).

O maior teor de NT no sistema semiperene AL-MI, 14,42% superior ao sistema referência TR-SO, deve-se à maior contribuição do sistema radicular da cultura da alfafa na adição de material orgânico ao solo e à fixação biológica de N atmosférico por essa leguminosa (Balesdent & Balabane, 1996; Santos et al., 2011). Isto porque a alfafa permanece no sistema 2,5 anos, o que permite um elevado desenvolvimento radicular, em resposta aos ciclos de corte e rebrota da parte aérea (7 a 8 cortes anuais), que eleva a taxa de renovação das raízes finas. Com isto, há um aumento de adição de MO tanto pelos resíduos radiculares, secreções e exsudatos, como pelo maior volume e densidade de exploração radicular no solo (Favero et al., 2008). Santos et al. (2011), em estudos nesta mesma área experimental no ano de 2006, observaram que o sistema semiperene AL-MI adiciona, aproximadamente, 7,52 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com contribuição radicular de 63% sobre os teores totais de C, o equivalente a 4,74 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, superior aos demais sistemas, onde a contribuição radicular variou de 1,91 a 3,11 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, aproximadamente 28 a 37% do C total adicionado pela vegetação. Balesdent & Balabane (1996), Six et al. (2002) e Rasse et al. (2005) afirmam que a contribuição das raízes nos teores de C e N no solo está diretamente relacionada à alta relação lignina/N do tecido radicular, que aumenta sua recalcitrância e tempo de permanência no solo; à interação organomineral entre os compostos orgânicos exsudados e o minerais; e à proteção física no interior de microporos e agregados, uma vez que as raízes estão inseridas diretamente na matriz do solo.

No sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO e nos sistemas bianuais AV-MI-TR-SO e AZ-MI-AZ-SO, o maiores teores de NT em relação ao sistema de referência TR-SO, possivelmente ocorreu devido à elevada adição de material orgânico pelas gramíneas associada à rotação de culturas com leguminosas (Santos et al., 2011). Em conjunto, esta ordenação das espécies vegetais na rotação propicia um acréscimo na produção de fitomassa das gramíneas, devido à assimilação de N mineral do solo, proveniente das leguminosas fixadoras de N atmosférico, que afeta o crescimento vegetativo das gramíneas. Além disto, a maior recalcitrância dos resíduos orgânicos adicionados ao solo a partir das gramíneas gera MOS mais resistente à decomposição microbiana, que aumenta os teores de NT no solo (Lovato et al., 2004; Weber & Mielniczuck, 2009).

#### **4.2. Variação dos indicadores microbiológicos entre as épocas de coleta**

Considerada a fração ativa da MOS, os teores de C e N na biomassa microbiana e sua atividade metabólica (RBS,  $q\text{CO}_2$ ,  $\text{PMC}_{30\text{d}}$  e  $\text{MLN}_{30\text{d}}$ ) são sensíveis às variações de manejo do solo e dos sistemas de culturas, como também às variações do ambiente, podendo ser



facilmente detectadas na avaliação e monitoramento da qualidade do solo (Anderson, 2003; Bastida et al., 2008). Observou-se, no presente estudo, que os indicadores microbiológicos foram sensíveis às variações climáticas em sistemas de rotação de culturas em plantio direto, como pode ser visualizado na Tabela 4 nas médias entre os sistemas de culturas.

Na primavera, a maior temperatura e precipitação (Figura 1) podem ter propiciado condições favoráveis em todos os sistemas de culturas para o aumento de  $C_{mic}$  e  $N_{mic}$  e da RBS (Li et al., 2003; 2004; Bastida et al., 2008), que por sua vez, também promoveram a maior decomposição da MOS na primavera, visualizado pelo  $PMC_{30d}$  e  $MLN_{30d}$ , e maior capacidade de utilização de C pela microbiota, demonstrada pelo  $qMIC$  (Cattelan & Vidor, 1990). No outono, aparentemente, a variação das condições ambientais ocasionaram diminuição da comunidade e da atividade microbiana do solo, pois como aproximadamente 95% dos microrganismos edáficos situam-se nos primeiros 5 cm do solo (Castelazzi et al., 2004), estes são diretamente afetados por flutuações de temperatura, umidade e radiação solar, que variam com as estações do ano (Bastida et al., 2008). Estas variações climáticas podem afetar os microrganismos, mudando significativamente o conteúdo da biomassa microbiana e seu nível de atividade no solo, mesmo em curto período (Bastida et al., 2008), como é o caso do tempo entre as duas épocas de avaliação deste estudo.

A variação do índice ecofisiológico  $qMIC$  entre épocas foi em decorrência da variação da biomassa microbiana, pois a disponibilidade de energia e nutrientes, representada pelo COT e NT, permaneceu inalterada nas duas coletas, assim como também foi observado por Franzluebbers et al. (2001) e Chen et al. (2005). Powlson et al. (1987) afirmam que os maiores valores de  $qMIC$  indicam condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano no solo, que pode ser decorrente da maior adição de fontes prontamente disponíveis de energia e nutrientes, como também pode estar associada à melhoria das condições ambientais, como por exemplo, o aumento de temperatura e umidade, que ocorreu na primavera em relação ao outono neste estudo. Nesse último caso, o  $qMIC$  pode variar entre épocas, mesmo se os teores de COT permanecerem inalterados ao longo do tempo.

E por fim, a ausência de diferença significativa entre épocas para  $qCO_2$  foi em decorrência da variação concomitante entre a RBS e a  $C_{mic}$ , uma vez que este índice expressa a taxa de respiração específica da comunidade microbiana, isto é, o quanto cada unidade de biomassa perde de  $CO_2$  via respiração. A não modificação do  $qCO_2$  aponta que, no outono, mesmo com a morte ou o baixo metabolismo de parte da comunidade microbiana em decorrência das menores temperaturas e precipitações, não houve diminuição da eficiência

metabólicas destes microrganismos (Álvares et al., 1995; Franzluebbbers et al., 1995; Alves et al., 2011), não representando uma condição de estresse da biomassa microbiana no solo.

#### **4.3. Quantidade e composição da comunidade microbiana e quociente microbiano entre sistemas de culturas**

A ausência de variação do  $C_{mic}$  (primavera e outono),  $N_{mic}$  e da relação C/N da biomassa microbiana (primavera) entre os sistemas de culturas em plantio direto também foi observada por Balota et al. (1998), Li et al. (2003), Balota et al. (2004), Conceição et al. (2005) e Alves et al. (2011). Balota et al. (2004), Conceição et al. (2005) e Alves et al. (2011) observaram que a variação de  $C_{mic}$  só ocorreu comparando sistemas de plantio direto com sistemas em preparo convencional ou nativo.

A menor sensibilidade de  $C_{mic}$  nas duas coletas deve-se, provavelmente, à adaptação da microbiota às fontes de energia e nutrientes de cada sistema, possivelmente ocasionada pela ausência de alteração no COT (Chaer & Tótolá, 2007) e pela mesma qualidade de resíduos vegetais adicionados (trigo, aveia, azevém). Outro fator que interfere na homogeneidade da comunidade microbiana são as características físicoquímicas do solo (textura, pH, Ca, Mg, P, K, V%), que foram semelhantes entre os sistemas de culturas, como observado nas Tabelas 2 e 3. Balota et al. (2004), em sistemas de plantio direto com diferentes sistemas de sucessão de culturas (soja/trigo; milho/trigo e algodão/trigo), encontraram variação do  $C_{mic}$  entre 326 a 367 mg C kg<sup>-1</sup> na camada de 0-5 cm, valores próximos aos encontrados neste estudo no outono.

Por causa do comportamento apresentado pelos indicadores  $C_{mic}$  e COT em todos os sistemas nas duas coletas, também não houve variação do  $qMIC$  (Tabela 4). Segundo Chaer & Tótolá (2007), a ausência de variação deste índice aponta para um restabelecimento da estabilidade da relação entre o  $C_{mic}$  e o COT no solo, sugerindo que o efeito dos diferentes sistemas de culturas sobre a biomassa microbiana está sendo diluída ao longo do tempo, possivelmente durante o processo de decomposição da MOS e ou durante o desenvolvimento das culturas. Além disso, a ausência de variação deste índice indica que a qualidade nutricional da MOS era similar entre os sistemas de culturas, tanto pela disponibilização de energia e nutrientes para os microrganismos, como pela proporção de  $C_{mic}$  nos teores totais de C no solo, pois quanto maior for esta proporção, maior a qualidade da MOS, em função da biomassa microbiana ser um considerável reservatório de energia e nutrientes no solo (Sparling, 1992).

Mas, de modo geral, a comunidade microbiana de todos os sistemas de culturas, tanto na primavera como no outono, apresentaram valores altos de  $C_{mic}$  e a mesma capacidade de atuar como reservatório de C, um indicativo de que todos os sistemas estavam promovendo qualidade do solo.

Especificamente no outono, onde se observou diferenças entre os sistemas de culturas para  $N_{mic}$  e relação C/N da biomassa microbiana, há um apontamento de que além da diminuição da comunidade microbiana do solo, e por sua vez, das reservas de C e N na microbiota, houve alteração na composição desta comunidade nos diferentes sistemas de culturas. Provavelmente, estas variações foram decorrentes das alterações do N mineral no solo (Frey et al., 2004; Li et al., 2003;2004; Högberg et al., 2007), que pode ter propiciado maior sensibilidade do  $N_{mic}$  em discriminar os sistemas de culturas neste período. A maior sensibilidade de  $N_{mic}$  também foi observada por Chaer & Tótola (2007).

O maior teor de  $N_{mic}$  no sistema semiperene AL-MI, no outono, ocorreu, provavelmente, por três fatores. O primeiro deles está relacionado com o ambiente edáfico mais favorável para o desenvolvimento da microbiota proporcionado pela rizosfera da alfafa (Li et al., 2004), que adiciona uma elevada quantidade de MOS de melhor qualidade nutricional (resíduos, exsudados e secreções). Como a quantidade e qualidade de exsudados e secreções liberados pelas raízes são dependentes da espécie, da idade e do vigor das plantas (Grayston & Jones, 1996), a cultura da alfafa tende a liberar maiores quantidades de compostos orgânicos para o solo, o que favorece a comunidade microbiana (Balandreau & Knowles, 1978). O segundo fator está relacionado com a composição da comunidade microbiana (indicada pela relação C/N da biomassa microbiana), no qual pode ter sido também influenciada pelo ambiente rizosférico da alfafa (Mac Donald, 1986). Neste sistema, a menor relação C/N da microbiota indica maior proporção de bactérias, que possuem relação próximo a 5, do que de fungos, que possuem relação C/N entre 8 e 10 (Li et al., 2003). A população bacteriana é favorecida no solo com aumento da disponibilidade de energia e nutrientes no ambiente, principalmente N e P (Li et al., 2004; Högberg et al., 2007) e, nestes ambientes, devido a maior densidade populacional das bactérias pelo seu menor tamanho, esta população possui maior demanda por N mineral, sendo assim, são mais competitivas em relação aos fungos (Li et al., 2004; Högberg et al., 2007). Por fim, o terceiro fator que pode ter interferido no  $N_{mic}$  do sistema AL-MI foi a maior imobilização de N mineral pela biomassa microbiana, decorrente da maior demanda por N mineral pela população bacteriana, que pode ter influenciado o baixo teor de N mineral no solo se comparado aos demais sistemas (Tabela 4). A imobilização de N pela biomassa microbiana tende a diminuir a

eficiência na utilização do N pelas culturas em curto prazo nos sistemas de plantio direto, mas a médio e longo prazo consiste em um processo relevante para a fertilidade dos solos agrícolas, uma vez que o N é altamente perdido do sistema e sua imobilização torna-se uma fonte potencialmente mineralizável (Doran, 1980; Vargas et al., 2005). Nos sistemas avaliados, por se tratar de um longo período de condução em plantio direto, a imobilização do N é um processo relevante. Sendo assim, o sistema semiperene AL-MI apresentou maior qualidade do solo em comparação aos demais, por estar imobilizando mais N na sua biomassa que, ao longo do tempo, disponibilizará ao solo para ser utilizado pelas plantas e demais organismos.

O sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO apresentou um comportamento contrário ao sistema semiperene AL-MI, quanto à composição da comunidade microbiana, pois teve a maior relação C/N no outono (Tabela 4) e tendeu a ter os menores valores de  $N_{mic}$ . A maior relação C/N da biomassa microbiana, neste sistema, representa um favorecimento da população de fungos no período em detrimento à população de bactérias na comunidade microbiana, quando se compara com o sistema AL-MI, que apresentou menor relação C/N. Provavelmente, isto ocorreu devido aos remanescentes de resíduos de aveia (adicionados na primavera), que possui relação C/N em torno de 34/1 (Giacomini et al., 2003) e altos teores de lignina, necessitando colonização de microrganismos especialistas (zimógenos) para a decomposição de fontes mais estáveis de energia e nutrientes (Vargas et al., 2004; Högberg et al., 2007). Nestas condições, fungos são os principais microrganismos na decomposição de resíduos com elevada recalcitrância, pois são unicamente capazes de decompor a lignina (Vargas et al., 2004).

Os demais sistemas, de modo geral, apresentaram comportamento intermediário entre o sistema AL-MI e o sistema ER-MI-AV-SO-TR-SO para a relação C/N da biomassa microbiana, indicando semelhanças na composição da comunidade microbiana do solo. E, exceto o sistema com alfafa, os demais sistemas apresentaram a mesma capacidade de reter N na sua biomassa, uma vez que apresentaram valores similares estatisticamente de  $N_{mic}$ , inclusive o sistema anual TR-SO.

Para enfatizar o comportamento visualizado nos sistemas AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO, as correlações na Tabela 5 indicam que ao passo que há um aumento nos teores de  $N_{mic}$ , há uma diminuição na relação C/N da biomassa microbiana, pela relação inversa entre os índices (-0,86 e -0,88, primavera e outono, respectivamente). Isto novamente corrobora com a informação de que a disponibilidade de N no sistema favorece a população bacteriana

em detrimento a de fungos pela sua maior necessidade e capacidade de imobilização de N mineral.

Na matriz de correlação (Tabela 5), nota-se que os teores de Cmic e Nmic são altamente dependentes da biodisponibilidade de energia e nutrientes no sistema. Este fato se comprova pelas correlações positivas na primavera de Cmic com N mineral (0,76), COT (0,78) e NT (0,77) e de Nmic com N mineral (0,92), NT (0,84) e PMC (0,86) e no outono com PMC (0,76). No outono, houve correlação de Cmic somente com  $qMIC$  (0,87). As correlações positivas e significativas na primavera em todos os sistemas de culturas podem indicar um maior e melhor aproveitamento das fontes de energias e nutrientes provenientes da MOS pela microbiota para a conversão em C e N microbiano. Além disto, a correlação de Cmic e Nmic com os teores de C e N totais do solo, na primavera, pode estar mais associada com a qualidade dos compostos orgânicos do que, necessariamente, com a quantidade dos compostos adicionados aos sistemas. Isto porque grande parte dos compostos orgânicos dos resíduos culturais é resistente à mineralização microbiana, pois são formados, principalmente, por celulose e lignina (Mengel, 1998). Especificamente, a ausência de correlação entre os teores de Nmic e NT no outono, que também foi ressaltada por Vargas & Scholles (1998), deve-se possivelmente a maior relação do Nmic com a qualidade do N adicionado do que com a quantidade total desse elemento no solo.

#### **4.4. Atividade microbiana do solo**

##### **4.4.1. Respiração basal do solo e quociente metabólico**

A ausência de variação da RBS e do  $qCO_2$  na primavera e do  $qCO_2$  no outono entre os sistemas de culturas ocorreu, provavelmente, pela estabilidade dos sistemas de culturas conduzidos há 21 anos sob plantio direto, como também pela mesma qualidade nutricional dos resíduos orgânicos adicionados no momento de cada coleta (Bastida et al., 2008), onde, na primavera, a maioria dos sistemas estavam sob resíduos de gramínea (exceto AL-MI) e, no outono, sob resíduo de leguminosa.

No entanto, Odum (1969), Bardgett & Shine (1999) e Anderson & Domsch (2010) afirmam que o aumento da diversidade de plantas tende a diminuir a RBS e o  $qCO_2$  em comparação a sistemas mais simplificados, devido às adições frequentes de resíduos orgânicos. Isto porque, segundo Anderson & Domsch (1990) e Odum (1969), com adições frequentes de material orgânico, a comunidade microbiana tende a um aumento na sua diversidade populacional e eficiência funcional, elevando a atividade microbiana a um baixo custo de energia. Em contrapartida, Wardle & Nicholson (1996) não observaram esta

diminuição com a diversificação de espécies vegetais em sistemas de rotação de culturas, corroborando com os dados observados no presente estudo. Porém, Anderson (2003) sugere que em diferentes sistemas de culturas, ocorre variação na diversidade da comunidade microbiana. Mas, que esta comunidade pode, possivelmente, apresentar populações de microrganismos que exerçam as mesmas habilidades funcionais, como por exemplo, decomposição da MOS por microrganismos autóctones ao invés da decomposição por microrganismos zimógenos. Portanto, os indicadores determinados neste estudo podem não ter captado as diferenças entre os sistemas, mas a comunidade microbiana, mesmo exercendo as mesmas funções, provavelmente é diversificada.

A maior RBS no sistema semiperene AL-MI no outono deve-se, possivelmente, ao maior número de microrganismos catabolicamente ativos no ambiente e à maior população bacteriana, que foram favorecidos pelo ambiente rizosférico proporcionado pela alfafa (Mac Donald, 1986). Em comparação aos demais sistemas, o aumento da respiração por si só representaria uma elevada perda de CO<sub>2</sub> pela biomassa microbiana durante o processo de decomposição da MOS. Contudo, o aumento desta atividade não vem acompanhado com aumento do  $q\text{CO}_2$ , indicando que esta perda está associada com uma eficiência na assimilação do C (Anderson & Domsch, 1993; Islam & Weil, 2000; Alves et al., 2011). A alta RBS também pode estar diretamente relacionada com o tipo e o tamanho da população microbiana, pois as bactérias, predominantes no sistema AL-MI, tendem a apresentar maiores níveis de atividade no solo e tendem a perder mais CO<sub>2</sub> se comparadas aos fungos, pela maior competitividade destas populações em solos com elevada fonte de energia e nutrientes e pelo seu maior gasto energético para se manter no sistema (Coleman, 1994).

Já o sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO, que apresentou comportamento contrário ao semiperene AL-MI, a menor RBS também veio acompanhada pela mudança da comunidade microbiana, ou seja, pelo aumento da população fúngica no solo. Primeiramente, isto confirma a idéia de que fungos possuem baixos níveis de atividade no solo e, posteriormente, de que a decomposição do material orgânico neste ambiente, fortemente influenciada por remanescentes de aveia, está diretamente relacionada a microrganismos especilistas (Moreira & Siqueira, 2006). No entanto, mesmo com atividade microbiana inferior em relação ao sistema AL-MI, o sistema trianual apresentou a mesma eficiência na utilização das fontes de energia e nutrientes do solo, observada pelo índice  $q\text{CO}_2$ .

Para comprovar a relação entre a composição da comunidade microbiana com os níveis de atividade no solo, obteve-se correlação negativa entre RBS e relação C/N da biomassa microbiana (-0,77), sugerindo que um possível aumento da população de bactérias

na comunidade microbiana do solo aumenta os níveis de atividade e resulta em maior gasto energético para esta população se manter no sistema (Tabela 5).

Mas de maneira geral, os valores intermediários da RBS nos demais sistemas, também acompanharam a relação C/N da biomassa microbiana, indicando que há a mesma composição na comunidade microbiana e que apresentam os mesmos níveis de atividade no solo. Porém, o  $qCO_2$  não variou entre estes sistemas e não diferiram dos sistemas AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO, o que indica que todos os sistemas de culturas avaliados, mesmo que com algumas peculiaridades, apresentam as mesmas características quanto à eficiência na utilização das fontes de energia e nutrientes oriundos da MOS, característica fundamental para promover a qualidade do solo.

Houve correlação negativa entre  $C_{mic}$  e  $qCO_2$  (-0,75) na coleta de primavera e não houve correlação na coleta de outono (Tabela 5). O comportamento inverso de ambos os indicadores, onde com o aumento da comunidade microbiana há um menor gasto energético para se manter no sistema, conduz a idéia de que a comunidade microbiana do solo estava sendo eficiente na assimilação de energia nos diferentes sistemas de culturas.

#### **4.4.2. Potencial de mineralização de C ( $PMC_{30d}$ ) e mineralização líquida de N ( $MLN_{30d}$ )**

O potencial de mineralização da MOS é um indicador associado à sua fração lábil e ao nível de atividade da comunidade microbiana. Ou seja, por se tratar de um potencial, a mineralização obtida pelos indicadores  $PMC_{30d}$  e  $MLN_{30d}$  pode não apresentar o mesmo comportamento a campo, isto porque este processo é altamente dependente de fatores bióticos e abióticos e de suas interações, como também é dependente da forma de proteção da MOS. Mesmo assim, como tendência, quanto maior a atividade microbiana e a disponibilidade do substrato orgânico lábil, maior será a mineralização da MOS e a liberação de energia e nutrientes no solo (Franzluebbers et al., 2001).

Entre os sistemas de culturas, o  $PMC_{30d}$  não diferiu estatisticamente tanto na coleta da primavera quanto na de outono, pois a comunidade microbiana pode ter se adaptado às condições do solo, como também se adaptado às fontes de energia e nutrientes disponíveis. Neste estudo, a ausência de variação do  $C_{mic}$  e COT podem ter refletido na ausência de variação do  $PMC_{30d}$ . Outro fator que também afeta a mineralização de C no solo é a atividade microbiana, que apresentou variação somente nos sistemas semiperene AL-MI e trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO no outono, mas que não foram suficientes para alterar o  $PMC_{30d}$ .

Na Tabela 5, nota-se que o  $PMC_{30d}$  diminuiu com o aumento nos teores de COT na coleta de outono (-0,82), provavelmente pela dificuldade de mineralização da fração

recalcitrante das fontes de C orgânico disponíveis nos sistemas de culturas. A atividade microbiana e a disponibilidade de N também favoreceram o  $PMC_{30d}$ , pois, nas duas épocas de coleta, houve correlação do  $PMC_{30d}$  com a RBS, com coeficientes de 0,74 e 0,98, respectivamente e, na primavera, com N mineral (0,97) [Tabela 5]. Com isto, afirma-se que com o aumento da atividade microbiana e das fontes biodisponíveis de nutrientes, principalmente N, há um favorecimento da mineralização de C, nos quais serão posteriormente utilizados pela comunidade microbiana.

O maior  $MLN_{30d}$  no sistema trianual ER-MI-AV-SO-TR-SO, na primavera, deve-se, provavelmente, a maior proporção de leguminosas no sistema de rotação de culturas, que aumenta o N prontamente disponível no solo e interfere em processos favoráveis à mineralização da MOS. Estes teores de N decorrentes da mineralização da MOS pela microbiota pode, em curto prazo, suprir as necessidade das culturas e de organismos edáficos. No entanto, ao longo do tempo, poderão ocorrer perdas de N no sistema, pois a taxa de mineralização de N pode ser superior à sua taxa de absorção pelas culturas e pelos organismos. O menor  $MLN_{30d}$  ocorreu nos sistemas bianuais AZ-MI-AZ-SO e AV-MI-TR-SO, devido ao predomínio de gramíneas de alta relação C/N na rotação, que pode estar afetando negativamente os processos relacionados à mineralização do N, mesmo estes sistemas apresentando valores altos de N mineral. Os teores mais próximos a este trabalho foram encontrados por Bremner (1965) em sistemas sob plantio direto, com teores entre 240 a 520  $mg\ kg^{-1}$  de MLN, ou seja, uma taxa de mineralização de 10 a 22  $mg\ kg^{-1}$  de N ao dia, em incubação aeróbica de 24 dias. Segundo Moreira & Siqueira (2006), teores típicos de  $MLN_{30d}$  variam entre 10 a 383  $mg\ kg^{-1}$ , aproximadamente 200  $kg\ de\ N\ ha^{-1}$ .

No entanto, vale ressaltar que os valores de  $PMC_{30d}$  e  $MLN_{30d}$  foram altos em todos os sistemas de culturas, principalmente na primavera, em comparação a outros trabalhos (Franzluebbers et al., 1995; Conceição et al., 2001; Franzluebbers et al., 2001), possivelmente em função dos elevados valores de  $C_{mic}$  e  $N_{mic}$  no solo. Isto porque a biomassa microbiana é o primeiro compartimento lábil da MOS a disponibilizar C e N durante o processo de mineralização, seguido da matéria orgânica particulada e, posteriormente, matéria orgânica estabilizada, como também a biomassa microbiana é o primeiro compartimento a imobilizar estes elementos na sua estrutura (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008). Os nutrientes imobilizados pela biomassa microbiana podem atingir teores elevados, mas a sua reciclagem e liberação são mais rápidas do que as de outras frações da MOS (Chevallier et al., 2004). Esta afirmação pode ser observada na Tabela 4, onde os valores de C e N mineralizado em incubação por 30 dias ( $PMC_{30d}$  e  $MLN_{30d}$ ) na primavera são bastante elevados, possivelmente



devido ao rompimento da parede celular da biomassa microbiana e liberação dos nutrientes (Haney & Franzluebbers, 2009) e a maior decomposição da fração particulada da MOS.

Quanto à biomassa microbiana, à medida que ocorre a morte de microrganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microrganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização. Tal processo pode suprir uma quantidade significativa de nitrogênio para as plantas (Vargas & Scholles, 2000) e outros organismos. Portanto, a biomassa microbiana atua como um tampão das fontes de energia e nutrientes do solo, uma vez que a biomassa controla a disponibilidade destes componentes através da mineralização e imobilização.

Tabela 5. Coeficiente de Correlação Simples de Pearson (r) do carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e indicadores microbiológicos em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto por 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Primavera – novembro de 2010											
	COT <sup>1</sup>	NT	Cmic	Nmic	C/N	RBS	qCO <sub>2</sub>	qMIC	PMC <sub>30d</sub>	MLN <sub>30d</sub>	Nmin
COT	1 <sup>2</sup>										
NT	0,91 <sup>**</sup>	1									
Cmic	0,78 <sup>*</sup>	0,77 <sup>*</sup>	1								
Nmic	0,69 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>**</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1							
C/N	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>**</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,86 <sup>ns</sup>	1						
RBS	-0,02 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>ns</sup>	1					
qCO <sub>2</sub>	-0,49 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>*</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1				
qMIC	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>*</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	1			
PMC <sub>30d</sub>	0,33 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>**</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>*</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	1		
MLN <sub>30d</sub>	0,28 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	1	
Nmin	0,71 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>**</sup>	0,76 <sup>**</sup>	0,92 <sup>***</sup>	-0,66 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>**</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	1
Outono – junho de 2011											
	COT	NT	Cmic	Nmic	C/N	RBS	qCO <sub>2</sub>	qMIC	PMC <sub>30d</sub>	MLN <sub>30d</sub>	Nmin
COT	1										
NT	0,84 <sup>**</sup>	1									
Cmic	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	1								
Nmic	-0,30 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	1							
C/N	0,37 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	1						
RBS	-0,80 <sup>*</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>**</sup>	-0,77 <sup>*</sup>	1					
qCO <sub>2</sub>	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	-0,66 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>*</sup>	1				
qMIC	-0,74 <sup>*</sup>	-0,61 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>**</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	1			
PMC <sub>30d</sub>	-0,82 <sup>*</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>*</sup>	-0,82 <sup>**</sup>	0,98 <sup>*</sup>	0,82 <sup>*</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	1		
MLN <sub>30d</sub>	0,36 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	1	
Nmin	0,26 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>ns</sup>	-0,80 <sup>*</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,58 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1

1) COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; Cmic: carbono da biomassa microbiana; Nmic: nitrogênio da biomassa microbiana; C/N microbiana = relação C/N da biomassa microbiana; qMIC = quociente microbiano; RBS = respiração basal do solo; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; PMC<sub>30d</sub> = potencial de mineralização de carbono; MLN<sub>30d</sub> = mineralização líquida de nitrogênio; 2) ns: não significativo; \* significativo a 10% de probabilidade; \*\* significativo a 5% de probabilidade; \*\*\* significativo a 1% de probabilidade.

#### 4.5. Comportamento dos indicadores microbiológicos e interação com os sistemas de culturas

O resultado da análise dos componentes principais (ACP) consiste, conforme Figura 2, nas relações entre os atributos microbiológicos, COT, NT, densidade e umidade, relação entre os sistemas e relação entre sistemas *vs* atributos. Observou-se na Figura 2a (primavera), que os eixos 1 e 2 explicaram 71,2% do comportamento dos indicadores e a sua interação com os sistemas. Enquanto que na Figura 2b (outono), os eixos 1 e 2 explicaram 70,5%. Na Figura 2 também estão apresentadas as correlações entre os indicadores da ACP dentro de cada eixo para todos os sistemas, os quais auxiliaram na avaliação destes dados.

De maneira geral, na ACP da primavera (Figura 2a), agruparam-se os sistemas AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO em torno dos atributos COT e NT e da maioria dos indicadores microbiológicos (Nmin, Cmic, Nmic e  $PMC_{30d}$  e  $MLN_{30d}$ ). Primeiramente, observa-se que ambos os sistemas são afetados diretamente pelo eixo 1, indicando influência destes sistemas nos atributos avaliados, uma vez que o eixo 1 explica 45,8% dos dados. Este agrupamento ainda sugere que ambos os sistemas possuíam características propícias para a melhoria dos atributos microbiológicos, principalmente o aumento da comunidade microbiana e mineralização da MOS. Provavelmente, a maior qualidade de serapilheira e da matéria orgânica no sistema ER-MI-AV-SO-TR-SO, devido ao maior número e alternância de espécies vegetais na rotação, e a melhor qualidade de matéria orgânica oriunda das raízes do sistema AL-MI, tendem a favorecer os indicadores microbiológicos e melhorar a qualidade do solo nestes sistemas. A maior variedade de atributos edáficos em torno de sistemas, como ocorreu com AL-MI e ER-MI-AV-SO-TR-SO neste estudo, também foi observado por Baretta et al. (2005), onde estes autores afirmam que esta forma de agrupamento é um indicativo de melhoria da qualidade no solo.

Outro agrupamento foi observado, na primavera, entre os sistemas referência anual TR-SO e bianual AV-MI-TR-SO, em função da densidade do solo (Tabela 2) e da relação C/N da biomassa microbiana (Tabela 4). Porém, o que de fato agrupou estes sistemas foi a densidade do solo, pois nestes sistemas há tendência a maior compactação do solo, devido utilização intensa de maquinários agrícolas.

Nos demais sistemas a densidade do solo foi similar ao TR-SO e ao AV-MI-TR-SO, no entanto, houve outros atributos mais determinantes que os agruparam. Foi o caso dos sistemas bianuais ER-MI-TR-SO e AZ-MI-AZ-SO, que se agruparam com o índice ecofisiológico  $qCO_2$ , ao mesmo tempo que este índice apresentou relação inversa ao Cmic, sendo -0,62 para Cmic e 0,92 para  $qCO_2$ , como observado na correlação do eixo 2 na Figura

2a. Esta relação inversa é positiva para os sistemas de culturas, uma vez que indica eficiência na utilização de C pela biomassa microbiana do solo.

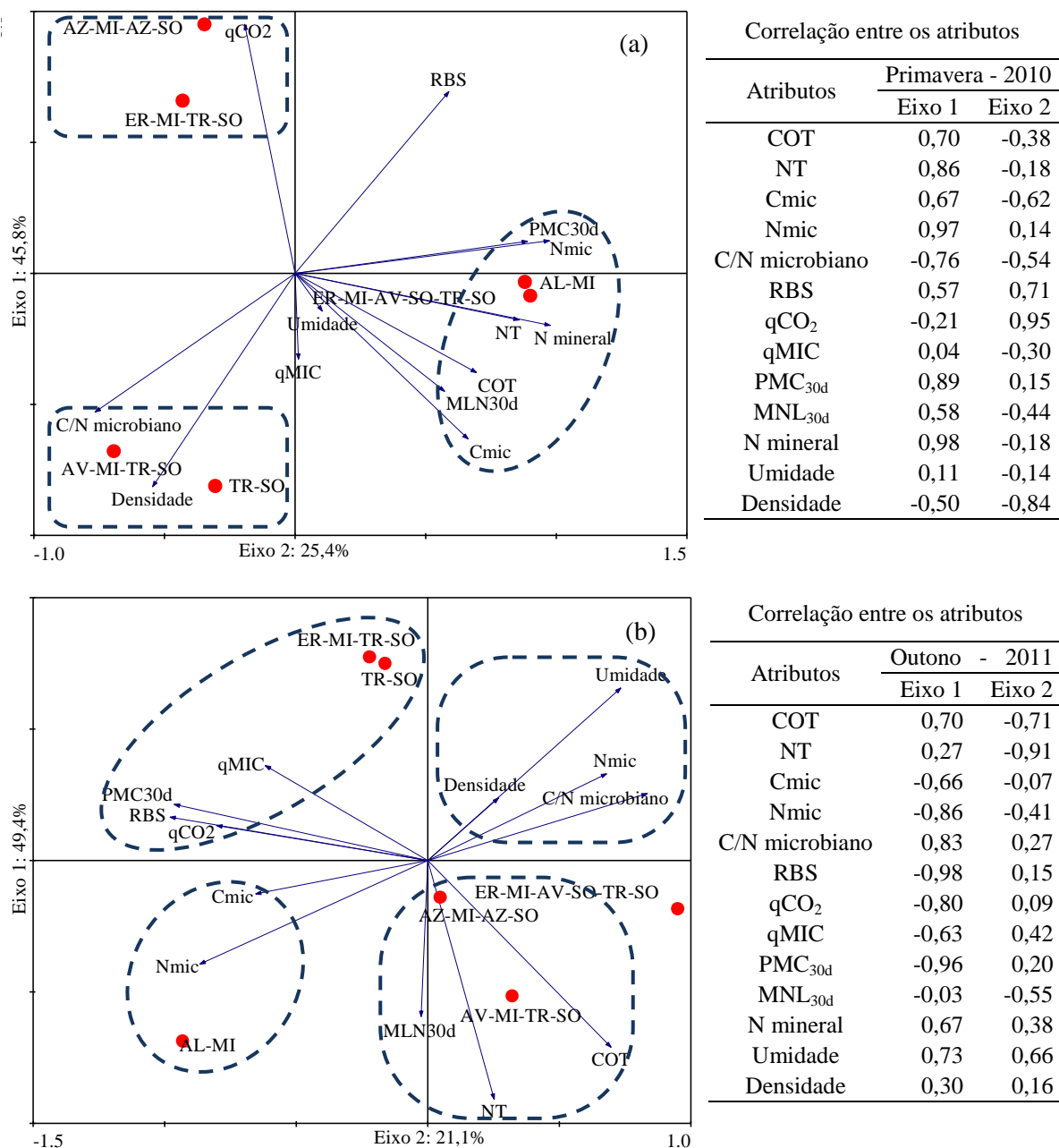


Figura 2. Análise de componentes principais e correlações entre os atributos de sistemas de culturas em rotação sob plantio direto por 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. (a) Coleta de primavera 2010 e (b) coleta de outono 2011. COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; Cmic: Carbono microbiano; Nmic: nitrogênio microbiano; C/N microbiano: relação C/N da biomassa microbiana; qMIC: quociente microbiano; RBS: respiração da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; PMC<sub>30d</sub>: potencial de mineralização do carbono; MLN<sub>30d</sub>: potencial de mineralização do nitrogênio; N mineral: teores de nitrogênio mineral.

No outono (Figura 2b), observou-se um comportamento diferenciado em relação à primavera, pela variação climática no período (Figura 1) e a respectiva influência sobre a microbiota (Tabela 4). Os atributos ficaram mais dispersos em relação aos eixos e em relação aos sistemas, que corrobora com a idéia de que os indicadores microbiológicos foram fortemente influenciados pelo clima e que expressou as diferenças e peculiaridades, conforme os sistemas de culturas em plantio direto para alguns indicadores microbiológicos (Nmic, relação C/N da biomassa microbiana e RBS). Observou-se, nesta segunda coleta, agrupamento de sistemas que apresentam características similares, quanto aos teores de C e N e número e alternância de plantas na rotação.

Houve interação dos sistemas bianuais AV-MI-TR-SO e AZ-MI-TR-SO com os atributos COT e NT. Isto se deve às maiores adições de material orgânico no sistema (Santos et al., 2011), pela predominância de gramíneas de alta relação C/N e culturas de cobertura do solo. O  $MLN_{30d}$  também se agrupou próximo a estes sistemas, que representa uma possibilidade a maior mineralização de N pela MOS. Mas isto é justificado pela tendência a maiores valores nos teores de NT no solo, observado na Tabela 4, que pode apresentar uma considerável fonte de frações lábeis e, conseqüentemente, aumentar a mineralização de N. Esta relação pode ser observada pela correlação direta entre COT, NT e  $MLN_{30d}$  (Figura 2b, eixo 2).

O sistema semiperene AL-MI agrupou-se com o Cmic e Nmic, indicando influência das características deste sistema na comunidade microbiana. Isto possivelmente deve-se aos elevados teores de Nmic, influenciado pela zona rizosférica da alfafa e pela maior população bacteriana, e pela tendência deste sistema apresentar o maior teor de Cmic (Tabela 4).

Outro agrupamento ocorreu entre os sistemas referência TR-SO e o bianual ER-MI-TR-SO, possivelmente devido aos baixos teores de COT e NT no solo. Pode-se observar que estes sistemas estão inversamente correlacionados com COT e NT (Figura 2b) e agrupados no mesmo quadrante com  $PMC_{30d}$ ,  $qCO_2$  e RBS (Tabela 4), indicando que o aumento da atividade microbiana do solo nestes sistemas afetam os teores de C e N no solo, conduzindo a menores valores neste sistema. Especificamente, no sistema referência TR-SO, o fator que está afetando os menores teores de C e N no solo é a menor adição de C pela matéria seca em comparação aos demais sistemas, como observado por Santos et al. (2011).

Mesmo não havendo diferenças estatísticas na maioria dos atributos microbiológicos avaliados entre os sistemas de culturas na primavera e outono (Tabela 4), a ACP aponta tendências na diferenciação entre eles, como também sinaliza grupos de sistemas que

possuem características similares e ou propícias para o desenvolvimento da microbiota do solo.

## **5. CONCLUSÕES**

1. Todos os sistemas avaliados apresentaram características microbiológicas favoráveis para a qualidade do solo, considerando as duas épocas de coletas. De modo geral, todos os sistemas apresentaram elevada capacidade de reserva de C e N na biomassa microbiana, o mesmo nível de atividade no solo e a mesma eficiência na utilização das fontes de energia e nutrientes. No entanto, o sistema com uma cultura semiperene e com elevada adição de resíduo orgânico pelo sistema radicular (AL-MI) e o sistema com maior número de espécies vegetais (ER-MI-AV-SO-TR-SO) em alternância na rotação mostraram-se mais favoráveis a melhoria dos atributos microbiológicos do solo, devido ao agrupamento encontrado na ACP da primavera, o que não foi observado no sistema de referência TR-SO;
2. No outono, as variações que ocorreram entre alguns indicadores microbiológicos (Nmic, RBS e C/N microbiano) deveram-se à composição microbiana do solo, onde o sistema AL-MI apresentou maior teor de Nmic e altos níveis de respiração microbiana pela maior população bacteriana, indicada pela baixa relação C/N da biomassa; e o sistema ER-MI-AV-SO-TR-SO apresentou menor valor de RBS, devido a maior população de fungos, indicada pela maior relação C/N da biomassa. Porém, as variações destes indicadores microbiológicos não discriminaram os sistemas de culturas quanto à funcionalidade do solo no agroecossistema.
3. A hipótese deste trabalho foi rejeitada, uma vez que não houve alteração na qualidade do solo a partir dos indicadores avaliados em diferentes sistemas de culturas em rotação com variação no número e na alternância de plantas, quando comparados ao sistema de referência TR-SO.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Pode-se observar que a maioria dos indicadores microbiológicos utilizados neste estudo não apresentou variações entre os sistemas de culturas. A pouca variação que ocorreu no  $MLN_{30d}$ , na primavera, e no Nmic, RBS e C/N da biomassa microbiana não tem condições

de indicar quais sistemas estão promovendo mais qualidade ao solo, pois não é possível observar a partir dos mesmos o cumprimento ou não das suas funções.

Deve-se levar em consideração que estes indicadores microbiológicos propostos na literatura foram com base em comparações de sistemas de manejo extremamente contrastantes, como sistemas nativos, sistemas de preparo convencional do solo e sistemas em plantio direto. Porém, há pouco estudo com base em sistemas de rotação de culturas com variação no número e na alternância de espécies vegetais sob um mesmo preparo do solo, como o sistema de plantio direto, que é o caso deste estudo.

O que ficou claro é que estes indicadores microbiológicos precisam ser mais aprofundados para uma avaliação precisa se há variação na qualidade do solo nos sistemas de culturas, considerando avaliações nos diferentes estágios das rotações e diferentes épocas de coleta. Assim sendo, indicadores como avaliação da fauna edáfica, diversidade microbiana e diversidade funcional do solo, em conjunto, poderiam dar um maior suporte na avaliação da qualidade do solo nestes sistemas.

## 7. LITERATURA CITADA

- ADDISCOTT, T.M. Soil mineralization: an emergent process? *Geoderma* 160: 31-35, 2010.
- ALVAREZ, R.; DIAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. & BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. *Soil & Tillage Research*, 33:17-28, 1995.
- ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L.; NETO, N.E.; MATSUOKA, M. & LOUREIRO, M.F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum*, 33:341-347, 2011.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis*. Wisconsin, Soil Society of America, 1982. p.831-871.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 10:215-221, 1978.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 25:393-395, 1993.
- ANDERSON, T. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98:285–293, 2003.
- ANDERSON, T. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients ( $q\text{CO}_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry*, 22: 251-255, 1990.

- ANDERSON, T. & DOMSCH, K.H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Biology & Biochemistry*, 42: 2039-2043, 2010.
- BALANDREAU, J. & KNOWLES, R. The rhizosphere. In: DOMMERGUES, Y. R. & KRUPA, S.V. eds. *Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. p.243-268.
- BALESDENT, J. & BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 28: 1261-1263, 1996.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sobre diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:641-649, 1998.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research*, 77:137-145, 2004.
- BARDGETT, R.D. & SHINE, A. Linkages between plant litter diversity, soil microbial biomass and ecosystem function in temperate grasslands. *Soil Biology & Biochemistry*, 31:317-321, 1999.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R. & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:715-724, 2005.
- BASTIDA, F. BARBERÁ, G.G. GARCÍA, C. & HERNÁNDEZ, T. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. *Applied Soil Ecology*, 38: 62-70, 2008.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil & Tillage Research*, 53:95-104, 2000.
- BREMNER J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. p.1149-1178.
- BUNDY, L.G. & MEISINGER, J.J. Nitrogen availability indices. In: WEAVER, R.W., ed. *Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.951-984.
- CASTELLAZZI, M.S.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. Distribution of microbial biomass down soil profiles under regenerating woodland. *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 1485-1489, 2004.
- CATELLAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:133-142, 1990.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1381-1396, 2007.
- CHEN, T.; CHIU, C. & TIAN, G. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest. *Pedobiologia*, 49:645-653, 2005.

- CHEVALLIER, T.; BLANCHART, E.; ALBRECHT, A. & FELLER, C. The physical protection of soil organic carbon in aggregates: a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103:375-387, 2004.
- COLEMAN, D.C. Compositional analysis of microbial communities: is the room in the middle? In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E., eds. *Beyond the biomass*. New York, John Wiley & Sons, 1994. p.201-220.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 777-788, 2005.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P. & KNABNER, I. K. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*, 81:87-95, 2005.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special, 35).
- DORAN, J.W. & SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B.M; GUPTA, V.V.S.R., eds. *Biological indicators of soil health*. Wallingford, UK: CAB International. 1997. p. 1–28.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 518-524, 1980.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FAVERO, D; SCHEFFER-BASSO, D.M; DALL'AGNOL, M. & SECO, D. Desempenho de populações de alfafa sob desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37: 589-595, 2008.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*, 66: 95-106, 2002.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEYB, R.L.; HONEYCUTT, C.W.; ARSHADD, M.A.; SCHOMBERGA, H.H. & HONS, F.M. Climatic influences on active fractions of soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 33:1103-1111, 2001.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M. & ZUBERER, D.A. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO<sub>2</sub> evolution under intensive cropping. *Soil & Tillage Research*, 34: 41-60, 1995.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. & ZUBERER, D.A. active fractions of organic matter in soils with different texture. *Soil Biology & Biochemistry*, 28:1367-1372, 1996.



- FREY, S.D.; KNORR, M.; PARRENT J.L. & SIMPSON, R.T. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology & Management*, 196:159-171, 2004.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.159-170.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:325-334, 2003
- GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S. & SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:601-616, 2001.
- GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, 5:29-56, 1996.
- HANEY, R.L. & FRANZLUEBBERS, A.J. Soil CO<sub>2</sub> evolution: Response from arginine additions. *Applied Soil Ecology*, 42: 324–327, 2009.
- HÖGBERG, M.N.; CHEN, Y. & HÖGBERG, P. Gross nitrogen mineralisation and fungi-to-bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests. *Biology & Fertility of Soils*, 44:363-366, 2007.
- INSAM, H. & DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology*, 15:177-188, 1988.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Ponta\\_Grossa.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm). Acesso em 24 de outubro de 2011.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79: 9-16, 2000.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; GREGORICH, E.G. & ELLERT, B.H. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., eds. *Soil Processes and the C Cycle*. Boca Raton, CRC Press, 1998. p. 57–80.
- JENKINSON, D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: WILSON, J.R., ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural systems*. Wallingford, CAB International, 1988. p.368-386.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A & LADD, J.N., eds. *Soil Biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1981. p 415-471.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, 8:209-213, 1976.

- KALBITZ, K. & KAISER, K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 171:52–60, 2008.
- LAL, R. & PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- LI, Q.; ALLEN, H.L. & WILSON, C.A. Nitrogen mineralization dynamics following the establishment of a loblolly pine plantation. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 364-374, 2003.
- LI, Q.; ALLEN, H.L. & WOLLUM II, A.G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: Effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:571-579, 2004.
- LISBOA, B.B. Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, 2009. (Dissertação de Mestrado)
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. & SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, 39:1067-1072, 2009.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F.M. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:175-187, 2004.
- MAC DONALD, R.M. Extraction of microorganisms from soil. *Biology, Agriculture and Horticulture*, 3:361-365, 1986.
- MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M. R.; SIRTOLI, A. E.; SERRAT, B. M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L. de; MACHADO, M. A. de M.; MARQUES, R. & MOTTA, A. C. V., eds. *Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas*. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003. p. 81-102.
- MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. *Plant & Soil*, 181:83-93, 1996.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2.ed. Lavras, UFLA, 2006. 729p.
- OADES, J.M. An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils. In: ZEPP, R.G. & SONNTAG, C., eds. *Role of non living organic matter in the earth's carbon cycle*. New York, John Wiley, 1995. p.55-94.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164:262-270, 1969.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, 19:159-164, 1987.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C & DIGNAC, M. O. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant & soil*, 269:341-356, 2005.
- SANTOS, N.Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. & PIVA, J.T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil & Tillage Research*, 111:208-218, 2011.

- SCHLOTER, M.; DILLY, O. & MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98:255–262, 2003.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M. & SA, M.J.C. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SMITH, J. L. & PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In BOLLAG, J. M. & STOTZKY, G., eds. *Soil Biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1990. p. 357-396.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30: 195-207, 1992.
- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 411-417, 1998.
- VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A. & SÁ, E.L.S. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 39:749-755, 2004.
- VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A. & SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. *Ciência Rural*, 35:76-83, 2005.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:743-755, 2009.
- WARDLE, D.A. & NICHOLSON, K.S. Synergistic effects of grassland plant species on soil microbial biomass and activity: implications for ecosystem-level effects of enriched plant diversity. *Functional Ecology*, 10:410-416, 1996.
- WEBER, M.A. & MIELNICZUCK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 429-437, 2009.
- XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVIERA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:247-258, 2006.

## **CAPITULO IV: CONCLUSÕES GERAIS**

1. A hipótese que sistemas de culturas com variação no número e na alternância de plantas na rotação modificam a qualidade do solo foi aceita.
2. Com base nos estoques de C e N nas frações físicas da matéria orgânica do solo, o sistema de culturas AL-MI promoveu melhoria da qualidade do solo em comparação ao sistema referência TR-SO. Pois, mesmo que ambos os sistemas apresentem características similares quanto ao número de plantas na rotação, o sistema AL-MI adiciona maiores quantidades de C e N ao solo, principalmente pelo sistema radicular da alfafa.
3. Quanto aos atributos microbiológicos, não houve variação na qualidade do solo entre os sistemas de culturas, pois, na sua maioria, os sistemas apresentaram a mesma capacidade de reserva de C e N na biomassa microbiana, os mesmos níveis de atividade e a mesma eficiência de utilização das fontes de energia e nutrientes do solo. Isto ocorreu porque a maioria dos sistemas apresentou similaridade em propriedades edáficas, como os teores de C e N, os atributos físicos e os químicos do solo. Assim, possivelmente, havia similaridade no habitat microbiano, igualando a qualidade do solo dos diferentes sistemas de culturas.

## **APÊNDICES**

**Apêndice 1.** Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), C e N > 53  $\mu\text{m}$ , C e N < 53  $\mu\text{m}$ , relação C/N proporção de cada fração do estoque total do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas de culturas	Blocos	Profundidade (subparcelas)	COT	NT	Relação C/N	C>53	N>53	Relação C/N	C>53	N>53	C<53	N<53	Relação C/N	C<53	N<53
						μm	μm		μm/COT	μm/NT	μm	μm			
			Mg ha <sup>-1</sup>			Mg ha <sup>-1</sup>			%		Mg ha <sup>-1</sup>			%	
ER-MI-AV-SO-TR-SO	1	0-5	18,98	1,54	12,35	6,62	0,45	14,78	34,89	29,15	12,36	1,09	11,35	65,11	70,85
ER-MI-AV-SO-TR-SO	2	0-5	19,03	1,63	11,68	7,66	0,54	14,17	40,26	33,18	11,37	1,09	10,44	59,74	66,82
ER-MI-AV-SO-TR-SO	3	0-5	18,67	1,47	12,74	6,11	0,44	13,79	32,72	30,23	12,56	1,02	12,28	67,28	69,77
ER-MI-AV-SO-TR-SO	4	0-5	17,23	1,43	12,06	6,15	0,44	13,90	35,71	30,99	11,08	0,99	11,23	64,29	69,01
ER-MI-AV-SO-TR-SO	1	5-10	14,14	1,04	13,57	3,15	0,23	13,83	22,31	21,90	10,98	0,81	13,50	77,69	78,10
ER-MI-AV-SO-TR-SO	2	5-10	15,69	1,17	13,46	3,65	0,25	14,41	23,24	21,70	12,04	0,91	13,19	76,76	78,30
ER-MI-AV-SO-TR-SO	3	5-10	14,87	1,07	13,90	1,83	0,13	14,50	12,33	11,82	13,04	0,94	13,82	87,67	88,18
ER-MI-AV-SO-TR-SO	4	5-10	14,02	1,08	13,02	1,75	0,12	14,52	12,46	11,18	12,27	0,96	12,83	87,54	88,82
ER-MI-AV-SO-TR-SO	1	10-20	26,41	1,65	15,96	2,44	0,15	16,78	9,22	8,77	23,98	1,51	15,89	90,78	91,23
ER-MI-AV-SO-TR-SO	2	10-20	27,21	1,55	17,52	3,27	0,20	16,53	12,02	12,75	23,94	1,35	17,67	87,98	87,25
ER-MI-AV-SO-TR-SO	3	10-20	25,87	1,56	16,56	2,32	0,13	17,96	8,97	8,27	23,55	1,43	16,43	91,03	91,73
ER-MI-AV-SO-TR-SO	4	10-20	24,34	1,69	14,44	1,72	0,09	19,36	7,07	5,27	22,62	1,60	14,17	92,93	94,73
AV-MI-TR-SO	1	0-5	18,47	1,42	13,02	6,39	0,43	14,95	34,61	30,13	12,08	0,99	12,18	65,39	69,87
AV-MI-TR-SO	2	0-5	18,67	1,40	13,38	7,49	0,50	14,99	40,10	35,79	11,19	0,90	12,48	59,90	64,21
AV-MI-TR-SO	3	0-5	18,38	1,38	13,32	6,55	0,45	14,45	35,64	32,84	11,83	0,93	12,76	64,36	67,16
AV-MI-TR-SO	4	0-5	18,49	1,50	12,36	5,90	0,42	13,97	31,90	28,23	12,59	1,07	11,73	68,10	71,77
AV-MI-TR-SO	1	5-10	15,76	1,03	15,31	3,49	0,23	15,20	22,14	22,31	12,27	0,80	15,34	77,86	77,69
AV-MI-TR-SO	2	5-10	14,69	1,00	14,63	3,21	0,18	17,46	21,83	18,30	11,48	0,82	14,00	78,17	81,70
AV-MI-TR-SO	3	5-10	13,78	0,89	15,51	1,38	0,07	18,52	10,00	8,37	12,40	0,81	15,23	90,00	91,63
AV-MI-TR-SO	4	5-10	14,63	1,15	12,72	1,92	0,12	16,10	13,12	10,36	12,71	1,03	12,32	86,88	89,64
AV-MI-TR-SO	1	10-20	25,78	1,63	15,81	3,52	0,21	16,76	13,66	12,89	22,26	1,42	15,67	86,34	87,11
AV-MI-TR-SO	2	10-20	27,54	1,73	15,92	3,19	0,18	17,90	11,59	10,30	24,35	1,55	15,69	88,41	89,70
AV-MI-TR-SO	3	10-20	23,41	1,43	16,33	2,14	0,10	20,94	9,13	7,12	21,27	1,33	15,98	90,87	92,88
AV-MI-TR-SO	4	10-20	24,99	1,79	13,95	2,03	0,11	18,72	8,14	6,07	22,96	1,68	13,64	91,86	93,93
TR-SO	1	0-5	17,22	1,35	12,76	5,16	0,34	15,11	29,96	25,31	12,06	1,01	11,97	70,04	74,69
TR-SO	2	0-5	18,91	1,34	14,07	5,87	0,52	11,34	31,06	38,54	13,04	0,83	15,79	68,94	61,46
TR-SO	3	0-5	20,06	1,38	14,59	6,00	0,42	14,41	29,91	30,26	14,06	0,96	14,66	70,09	69,74
TR-SO	4	0-5	15,99	1,26	12,72	5,23	0,36	14,38	32,71	28,93	10,76	0,89	12,05	67,29	71,07
TR-SO	1	5-10	14,38	1,02	14,09	2,44	0,15	16,27	16,99	14,72	11,93	0,87	13,71	83,01	85,28
TR-SO	2	5-10	15,09	1,08	13,91	3,42	0,23	14,94	22,68	21,12	11,67	0,86	13,64	77,32	78,88
TR-SO	3	5-10	14,54	1,05	13,81	2,38	0,15	15,45	16,33	14,60	12,17	0,90	13,53	83,67	85,40
TR-SO	4	5-10	13,57	0,99	13,68	1,89	0,11	17,15	13,93	11,11	11,68	0,88	13,25	86,07	88,89
TR-SO	1	10-20	27,89	1,74	16,07	2,61	0,11	24,80	9,37	6,07	25,28	1,63	15,50	90,63	93,93
TR-SO	2	10-20	30,88	1,80	17,11	3,18	0,15	21,38	10,30	8,25	27,70	1,66	16,73	89,70	91,75
TR-SO	3	10-20	25,59	1,54	16,64	2,41	0,11	21,60	9,42	7,26	23,18	1,43	16,25	90,58	92,74
TR-SO	4	10-20	21,05	1,36	15,50	1,67	0,13	12,45	7,92	9,86	19,38	1,22	15,84	92,08	90,14

**Apêndice 1.** Continuação.

Sistemas de culturas	Blocos	Profundidade (Subparcelas)	COT	NT	Relação C/N	C>53	N>53	Relação C/N	C>53	N>53	C<53	N<53	Relação C/N	C<53	N<53
						μm	μm		μm/COT	μm/NT	μm	μm		μm/COT	μm/NT
			Mg ha <sup>-1</sup>			Mg ha <sup>-1</sup>			%		Mg ha <sup>-1</sup>			%	
AZ-MI-AZ-SO	1	0-5	19,73	1,54	12,84	7,05	0,46	15,45	35,73	29,68	12,68	1,08	11,73	64,27	70,32
AZ-MI-AZ-SO	2	0-5	19,10	1,45	13,20	5,97	0,41	14,56	31,26	28,33	13,13	1,04	12,66	68,74	71,67
AZ-MI-AZ-SO	3	0-5	17,53	1,34	13,09	7,21	0,50	14,54	41,11	37,00	10,32	0,84	12,23	58,89	63,00
AZ-MI-AZ-SO	4	0-5	18,13	1,36	13,34	5,18	0,39	13,16	28,56	28,94	12,95	0,97	13,41	71,44	71,06
AZ-MI-AZ-SO	1	5-10	15,34	1,09	14,05	2,17	0,15	14,61	14,18	13,63	13,16	0,94	13,96	85,82	86,37
AZ-MI-AZ-SO	2	5-10	17,40	1,20	14,52	2,32	0,14	16,13	13,31	11,98	15,09	1,05	14,31	86,69	88,02
AZ-MI-AZ-SO	3	5-10	15,05	1,03	14,66	0,98	0,06	15,16	6,48	6,27	14,08	0,96	14,63	93,52	93,73
AZ-MI-AZ-SO	4	5-10	14,72	1,05	14,07	1,23	0,08	15,96	8,37	7,38	13,49	0,97	13,92	91,63	92,62
AZ-MI-AZ-SO	1	10-20	27,02	1,65	16,32	2,96	0,14	20,88	10,96	8,57	24,05	1,51	15,90	89,04	91,43
AZ-MI-AZ-SO	2	10-20	29,11	1,73	16,83	3,87	0,24	16,41	13,31	13,65	25,24	1,49	16,90	86,69	86,35
AZ-MI-AZ-SO	3	10-20	26,07	1,45	17,93	2,00	0,15	13,32	7,68	10,33	24,07	1,30	18,46	92,32	89,67
AZ-MI-AZ-SO	4	10-20	25,42	1,45	17,48	1,65	0,08	21,33	6,49	5,32	23,77	1,38	17,27	93,51	94,68
AL-MI	1	0-5	19,81	1,63	12,15	7,21	0,56	12,86	36,40	34,41	12,60	1,07	11,78	63,60	65,59
AL-MI	2	0-5	19,68	1,58	12,45	7,36	0,56	13,15	37,39	35,41	12,32	1,02	12,07	62,61	64,59
AL-MI	3	0-5	21,16	1,77	11,93	6,53	0,51	12,84	30,85	28,65	14,63	1,27	11,56	69,15	71,35
AL-MI	4	0-5	19,30	1,59	12,13	6,26	0,46	13,71	32,44	28,71	13,04	1,13	11,49	67,56	71,29
AL-MI	1	5-10	15,93	1,17	13,56	3,22	0,23	14,24	20,18	19,23	12,71	0,95	13,40	79,82	80,77
AL-MI	2	5-10	15,67	1,12	13,99	2,53	0,17	14,97	16,12	15,06	13,15	0,95	13,81	83,88	84,94
AL-MI	3	5-10	15,61	1,18	13,20	1,90	0,14	14,01	12,16	11,46	13,71	1,05	13,10	87,84	88,54
AL-MI	4	5-10	14,58	1,15	12,68	2,14	0,15	14,51	14,66	12,82	12,44	1,00	12,41	85,34	87,18
AL-MI	1	10-20	27,57	1,71	16,11	3,01	0,28	10,67	10,91	16,47	24,56	1,43	17,18	89,09	83,53
AL-MI	2	10-20	28,18	1,68	16,80	3,26	0,15	21,10	11,58	9,22	24,92	1,52	16,36	88,42	90,78
AL-MI	3	10-20	30,06	1,99	15,10	4,38	0,26	16,86	14,56	13,04	25,68	1,73	14,83	85,44	86,96
AL-MI	4	10-20	26,65	1,80	14,79	2,11	0,17	12,51	7,92	9,37	24,54	1,63	15,03	92,08	90,63
ER-MI-TR-SO	1	0-5	16,61	1,32	12,55	4,91	0,34	14,43	29,57	25,72	11,70	0,98	11,90	70,43	74,28
ER-MI-TR-SO	2	0-5	17,81	1,36	13,05	6,58	0,46	14,25	36,95	33,85	11,23	0,90	12,44	63,05	66,15
ER-MI-TR-SO	3	0-5	18,39	1,41	13,08	6,11	0,44	13,95	33,25	31,17	12,27	0,97	12,68	66,75	68,83
ER-MI-TR-SO	4	0-5	16,94	1,32	12,80	4,99	0,36	13,97	29,47	27,00	11,95	0,97	12,36	70,53	73,00
ER-MI-TR-SO	1	5-10	15,07	1,09	13,88	2,15	0,12	17,78	14,24	11,12	12,92	0,96	13,39	85,76	88,88
ER-MI-TR-SO	2	5-10	15,06	1,07	14,02	2,83	0,19	15,20	18,82	17,36	12,23	0,89	13,78	81,18	82,64
ER-MI-TR-SO	3	5-10	13,49	0,93	14,50	2,31	0,13	17,19	17,14	14,46	11,18	0,80	14,05	82,86	85,54
ER-MI-TR-SO	4	5-10	13,89	0,95	14,67	1,69	0,10	16,11	12,16	11,07	12,20	0,84	14,49	87,84	88,93
ER-MI-TR-SO	1	10-20	26,66	1,67	15,93	2,39	0,10	25,07	8,98	5,71	24,26	1,58	15,38	91,02	94,29
ER-MI-TR-SO	2	10-20	25,41	1,59	15,94	3,15	0,17	18,84	12,40	10,49	22,26	1,43	15,60	87,60	89,51
ER-MI-TR-SO	3	10-20	26,81	1,77	15,14	3,26	0,16	20,05	12,15	9,18	23,56	1,61	14,64	87,85	90,82
ER-MI-TR-SO	4	10-20	25,19	1,63	15,43	1,32	0,12	10,73	5,23	7,52	23,87	1,51	15,81	94,77	92,48

**Apêndice 2.** Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), C e N > 53  $\mu\text{m}$ , C e N < 53  $\mu\text{m}$ , relação C/N proporção de cada fração do estoque total do solo, na profundidade de 0-20 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistemas de culturas	Blocos	Profundidade	COT	NT	Relação C/N	C>53 $\mu\text{m}$	N>53 $\mu\text{m}$	Relação C/N	C>53 $\mu\text{m}/\text{COT}$	N>53 $\mu\text{m}/\text{NT}$	C<53 $\mu\text{m}$	N<53 $\mu\text{m}$	Relação C/N	C<53 $\mu\text{m}/\text{COT}$	N<53 $\mu\text{m}/\text{NT}$
			$\text{Mg ha}^{-1}$	$\text{Mg ha}^{-1}$		$\text{Mg ha}^{-1}$	$\text{Mg ha}^{-1}$		%	%	$\text{Mg ha}^{-1}$	$\text{Mg ha}^{-1}$		%	%
Er-Mi-Av-So-Tr-So	1	0-20	59,53	4,23	14,06	12,21	0,82	14,87	20,51	19,40	47,32	3,41	13,87	79,49	80,60
Er-Mi-Av-So-Tr-So	2	0-20	61,93	4,35	14,24	14,58	0,99	14,70	23,54	22,80	47,35	3,36	14,11	76,46	77,20
Er-Mi-Av-So-Tr-So	3	0-20	59,41	4,10	14,50	10,26	0,70	14,69	17,27	17,05	49,15	3,40	14,46	82,73	82,95
Er-Mi-Av-So-Tr-So	4	0-20	55,60	4,19	13,26	9,62	0,65	14,75	17,31	15,56	45,98	3,54	12,99	82,69	84,44
Av-Mi-Tr-So	1	0-20	60,01	4,08	14,71	13,40	0,87	15,46	22,34	21,26	46,60	3,21	14,51	77,66	78,74
Av-Mi-Tr-So	2	0-20	60,90	4,13	14,75	13,89	0,86	16,12	22,80	20,86	47,01	3,27	14,39	77,20	79,14
Av-Mi-Tr-So	3	0-20	55,56	3,70	15,01	10,06	0,63	15,99	18,11	17,01	45,50	3,07	14,81	81,89	82,99
Av-Mi-Tr-So	4	0-20	58,12	4,44	13,09	9,85	0,65	15,15	16,95	14,65	48,26	3,79	12,74	83,05	85,35
Tr-So	1	0-20	59,49	4,11	14,49	10,22	0,60	17,11	17,17	14,54	49,28	3,51	14,04	82,83	85,46
Tr-So	2	0-20	64,88	4,23	15,33	12,48	0,90	13,93	19,23	21,17	52,40	3,34	15,70	80,77	78,83
Tr-So	3	0-20	60,18	3,97	15,18	10,78	0,68	15,83	17,92	17,18	49,40	3,28	15,04	82,08	82,82
Tr-So	4	0-20	50,60	3,61	14,03	8,79	0,61	14,46	17,36	16,85	41,82	3,00	13,95	82,64	83,15
Az-Mi-Az-So	1	0-20	62,09	4,28	14,49	12,19	0,75	16,32	19,63	17,44	49,90	3,54	14,11	80,37	82,56
Az-Mi-Az-So	2	0-20	65,61	4,38	15,00	12,16	0,79	15,40	18,53	18,05	53,45	3,59	14,91	81,47	81,95
Az-Mi-Az-So	3	0-20	58,65	3,82	15,35	10,18	0,71	14,34	17,36	18,59	48,46	3,11	15,59	82,64	81,41
Az-Mi-Az-So	4	0-20	58,28	3,86	15,10	8,06	0,55	14,71	13,83	14,20	50,22	3,31	15,16	86,17	85,80
Al-Mi	1	0-20	63,30	4,52	14,02	13,43	1,07	12,57	21,22	23,66	49,87	3,45	14,47	78,78	76,34
Al-Mi	2	0-20	63,53	4,38	14,51	13,15	0,88	14,89	20,69	20,17	50,39	3,50	14,41	79,31	79,83
Al-Mi	3	0-20	66,84	4,95	13,51	12,81	0,90	14,17	19,16	18,26	54,03	4,04	13,36	80,84	81,74
Al-Mi	4	0-20	60,53	4,54	13,32	10,51	0,77	13,60	17,37	17,01	50,02	3,77	13,27	82,63	82,99
Er-Mi-Tr-So	1	0-20	58,34	4,08	14,29	9,45	0,56	16,98	16,20	13,63	48,88	3,53	13,87	83,80	86,37
Er-Mi-Tr-So	2	0-20	58,28	4,03	14,45	12,57	0,82	15,41	21,56	20,22	45,71	3,22	14,21	78,44	79,78
Er-Mi-Tr-So	3	0-20	58,70	4,11	14,29	11,69	0,74	15,89	19,91	17,90	47,01	3,37	13,94	80,09	82,10
Er-Mi-Tr-So	4	0-20	56,02	3,90	14,35	8,00	0,58	13,67	14,28	14,99	48,02	3,32	14,47	85,72	85,01



**Apêndice 3.** Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), relação C/N da biomassa microbiana (C/N microbiano), quociente microbiano ( $qMIC$ ), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), potencial de mineralização de carbono (PMC), nitrogênio mineral (N min) e mineralização líquida de nitrogênio (MLN), na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Sistema de culturas	Bloco	Época	COT	NT	Cmic	Nmic	C/N microbiano	$qMIC$	RBS	$qCO_2$	PMC <sub>30d</sub>	N min	MLN <sub>30d</sub>
			g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>			%	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> mg Cmic h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>
Er-Mi-Av-So-Tr-So	1	Primavera	36,86	2,99	579,52	169,67	3,42	1,57	1,78	3,07	589,17	37,47	411,69
Er-Mi-Av-So-Tr-So	2	Primavera	40,81	3,17	426,96	106,58	4,01	1,07	1,35	3,21	552,26	25,76	352,78
Er-Mi-Av-So-Tr-So	3	Primavera	36,25	2,85	599,61	150,44	3,99	1,67	1,51	2,52	652,04	23,57	400,38
Er-Mi-Av-So-Tr-So	4	Primavera	33,47	2,78	676,47	173,19	3,91	2,02	1,51	2,25	595,59	27,31	434,16
Er-Mi-Av-So-Tr-So	1	Outono	37,68	2,84	221,95	105,11	2,11	0,59	0,75	3,39	217,93	54,32	49,43
Er-Mi-Av-So-Tr-So	2	Outono	41,65	3,47	289,29	26,86	10,77	0,69	0,63	2,17	166,07	61,42	48,23
Er-Mi-Av-So-Tr-So	3	Outono	33,75	2,69	407,07	44,90	9,07	1,21	0,63	1,58	211,03	41,92	27,31
Er-Mi-Av-So-Tr-So	4	Outono	37,96	3,06	412,57	48,32	8,54	1,09	0,53	1,28	145,25	50,20	42,21
Av-Mi-Tr-So	1	Primavera	35,86	2,76	499,12	125,27	3,98	1,40	1,49	2,99	472,12	23,19	155,92
Av-Mi-Tr-So	2	Primavera	36,26	2,71	571,93	93,18	6,14	1,58	1,41	2,47	396,37	19,34	224,44
Av-Mi-Tr-So	3	Primavera	35,69	2,68	633,47	123,70	5,12	1,79	1,24	1,96	449,52	17,96	124,53
Av-Mi-Tr-So	4	Primavera	35,91	2,91	518,65	159,18	3,26	1,44	1,53	2,97	618,60	23,83	243,62
Av-Mi-Tr-So	1	Outono	39,82	3,12	274,41	66,19	4,15	0,69	0,82	2,99	238,99	25,94	30,00
Av-Mi-Tr-So	2	Outono	37,61	3,02	360,57	76,94	4,69	0,96	0,83	2,29	284,79	33,06	41,97
Av-Mi-Tr-So	3	Outono	31,99	2,52	341,70	78,70	4,34	1,07	0,75	2,23	218,43	22,26	43,54
Av-Mi-Tr-So	4	Outono	39,32	3,11	383,32	63,80	6,01	0,97	0,53	1,39	136,94	32,15	90,39
Tr-So	1	Primavera	33,44	2,62	549,73	158,23	3,47	1,65	1,44	2,70	480,64	24,15	326,24
Tr-So	2	Primavera	36,73	2,61	555,88	115,91	4,80	1,52	1,65	2,97	581,21	21,75	304,41
Tr-So	3	Primavera	38,95	3,03	650,83	119,08	5,47	1,67	1,50	2,31	517,89	23,70	294,19
Tr-So	4	Primavera	31,04	2,44	562,41	109,16	5,15	1,82	1,38	2,46	618,20	24,16	261,11
Tr-So	1	Outono	35,30	2,84	324,54	92,02	3,53	0,92	0,84	2,64	263,16	42,69	42,18
Tr-So	2	Outono	37,67	3,06	304,94	62,66	4,87	0,81	0,96	3,14	264,71	49,70	43,19
Tr-So	3	Outono	35,12	2,83	345,70	61,85	5,59	0,98	0,68	1,97	186,90	37,44	33,33
Tr-So	4	Outono	30,25	2,36	395,10	120,80	3,27	1,31	1,07	2,71	295,19	31,64	37,79

### Apêndice 3. Continuação.

Sistema de culturas	Bloco	Época	COT	NT	Cmic	Nmic	C/N microbiano	qMIC	RBS	qCO <sub>2</sub>	PMC <sub>30d</sub>	N min	MLN <sub>30d</sub>
			g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>			%	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> mg Cmic h <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>
Az-Mi-Az-So	1	Primavera	38,32	2,99	549,96	158,06	3,48	1,44	1,70	3,10	581,20	11,72	82,88
Az-Mi-Az-So	2	Primavera	37,08	2,81	593,33	97,43	6,09	1,60	1,45	2,44	423,52	18,96	79,18
Az-Mi-Az-So	3	Primavera	34,03	2,60	422,95	140,60	3,01	1,21	1,52	4,42	494,61	23,24	140,36
Az-Mi-Az-So	4	Primavera	31,42	2,44	584,77	130,08	4,50	1,86	1,54	2,63	611,76	30,23	177,96
Az-Mi-Az-So	1	Outono	39,78	3,23	389,36	85,04	4,58	0,98	0,96	2,57	292,90	71,68	46,93
Az-Mi-Az-So	2	Outono	36,26	2,88	428,26	81,73	5,24	1,18	1,03	2,44	299,29	75,26	47,79
Az-Mi-Az-So	3	Outono	30,97	2,41	372,50	78,70	4,73	1,20	0,71	1,91	191,12	52,73	48,89
Az-Mi-Az-So	4	Outono	37,65	2,99	416,89	74,65	5,58	1,11	0,47	1,12	130,74	50,04	60,73
Alf-Mi	1	Primavera	38,47	3,17	635,05	150,19	4,23	1,65	1,73	2,72	626,59	28,00	109,33
Alf-Mi	2	Primavera	38,22	3,07	576,62	163,63	3,52	1,51	1,61	2,79	541,27	25,77	349,39
Alf-Mi	3	Primavera	41,10	3,45	648,22	142,65	4,54	1,59	1,56	2,41	560,04	22,75	83,09
Alf-Mi	4	Primavera	32,01	2,82	524,01	129,33	4,05	1,65	1,43	2,72	602,26	36,14	323,31
Alf-Mi	1	Outono	40,04	3,43	419,81	152,00	2,76	1,05	1,16	2,76	312,22	5,34	58,23
Alf-Mi	2	Outono	35,81	3,06	344,44	116,06	2,97	0,96	1,20	3,49	332,29	5,46	33,09
Alf-Mi	3	Outono	32,68	2,66	366,46	114,44	3,20	0,87	0,86	3,06	226,35	4,64	47,80
Alf-Mi	4	Outono	33,62	2,81	433,73	117,00	3,71	1,29	0,78	1,80	189,84	6,40	44,50
Er-Mi-Tr-So	1	Primavera	31,44	2,57	520,94	140,83	3,70	1,66	1,83	3,53	555,51	25,99	263,81
Er-Mi-Tr-So	2	Primavera	34,58	2,65	449,98	96,15	4,68	1,30	1,49	3,32	502,73	18,11	210,01
Er-Mi-Tr-So	3	Primavera	35,71	2,73	567,71	143,60	3,95	1,59	1,27	2,24	541,17	21,97	168,61
Er-Mi-Tr-So	4	Primavera	29,01	2,34	581,28	132,14	4,40	2,01	1,65	2,84	591,19	20,67	217,00
Er-Mi-Tr-So	1	Outono	36,49	2,91	375,82	95,71	3,93	1,03	0,94	2,50	252,96	35,36	45,42
Er-Mi-Tr-So	2	Outono	36,49	2,97	318,49	62,86	5,07	0,87	1,11	3,48	314,95	37,80	34,51
Er-Mi-Tr-So	3	Outono	30,41	2,33	375,62	45,48	8,26	1,24	0,79	2,12	200,87	36,41	51,76
Er-Mi-Tr-So	4	Outono	32,77	2,64	438,30	60,81	7,21	1,34	0,73	1,66	216,51	28,41	45,31

**Apêndice 4.** Análise de variância dos estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e C e N > e <53µm, relação C/N das frações físicas da matéria orgânica e proporção de C e N nas frações físicas, profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. DMSB (Diferença mínima significativa entre blocos); DMSa (Diferença mínima significativa entre médias dos tratamentos de todas profundidades); DMSb (Diferença mínima significativa entre profundidades);

a) Carbono orgânico total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	37.14780	12.38260	6.0475 **
Trat-a (Ta)	5	30.11233	6.02247	2.9413 *
Resíduo-a	15	30.71321	2.04755	
Parcelas	23	97.97334		
Trat-b (Tb)	2	1685.85609	842.92804	686.6786 **
Int. TaxTb	10	7.76023	0.77602	0.6322 ns
Resíduo-b	36	44.19158	1.22754	
Total	71	1835.78123		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	6.0475	0.0066
5	15	2.9013	2.9413	0.0479
2	36	5.2491	686.6786	<0.001
10	36	0.3053	0.6322	>0.050

DMSB = 1.37607

DMS-a = 1.89600

DMS-b = 0.78100

DMS para tratamentos = 2.5768 DMS para profundidade = 1.9131

CV%-a = 7.17264 CV%-b = 5.55368

b) Nitrogênio total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.03761	0.01254	0.6533 ns
Trat-a (Ta)	5	0.33933	0.06787	3.5372 *
Resíduo-a	15	0.28779	0.01919	
Parcelas	23	0.66473		
Trat-b (Tb)	2	4.22241	2.11121	376.9133 **
Int. TaxTb	10	0.11233	0.01123	2.0054 ns
Resíduo-b	36	0.20165	0.00560	
Total	71	5.20112		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.6533	>0.050
5	15	2.9013	3.5372	0.026
2	36	5.2491	376.9133	<0.001
10	36	2.1063	2.0054	0.0621

DMSB = 0.13320

DMS-a = 0.18353

DMS-b = 0.05276

DMS para tratamentos = 0.2151 DMS para profundidade = 0.1292

CV%-a = 9.97489 CV%-b = 5.38961

## Apêndice 4. Continuação

### c) Carbono orgânico particulado (C > 53 µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	16.83354	5.61118	16.7748 **
Trat-a (Ta)	5	4.65183	0.93037	2.7814 ns
Resíduo-a	15	5.01750	0.33450	
Parcelas	23	26.50287		
Trat-b (Tb)	2	229.23825	114.61913	440.0457 **
Int. TaxTb	10	5.04724	0.50472	1.9377 ns
Resíduo-b	36	9.37695	0.26047	
Total	71	270.16532		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	16.7748	<0.001
5	15	2.9013	2.7814	0.0568
2	36	5.2491	440.0457	<0.001
10	36	2.1063	1.9377	0.0717

DMSB = 0.55619

DMS-a = 0.76634

DMS-b = 0.35976

DMS para tratamentos = 1.1191 DMS para profundidade = 0.8812

CV%-a = 15.40375 CV%-b = 13.59277

### d) Nitrogênio particulado (N > 53 µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.05864	0.01955	7.0314 **
Trat-a (Ta)	5	0.05040	0.01008	3.6261 *
Resíduo-a	15	0.04170	0.00278	
Parcelas	23	0.15073		
Trat-b (Tb)	2	1.39955	0.69978	530.3920 **
Int. TaxTb	10	0.02298	0.00230	1.7419 ns
Resíduo-b	36	0.04750	0.00132	
Total	71	1.62076		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	7.0314	0.0036
5	15	2.9013	3.6261	0.0238
2	36	5.2491	530.392	<0.001
10	36	2.1063	1.7419	0.1087

DMSB = 0.05070

DMS-a = 0.06986

DMS-b = 0.02560

DMS para tratamentos = 0.0898 DMS para profundidade = 0.0627

CV%-a = 21.00790 CV%-b = 14.47317

## Apêndice 4. Continuação.

### e) Carbono orgânico associado aos minerais (C < 53 µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	4.39909	1.46636	0.7544 ns
Trat-a (Ta)	5	20.99513	4.19903	2.1604 ns
Resíduo-a	15	29.15484	1.94366	
Parcelas	23	54.54905		
Trat-b (Tb)	2	2083.76721	1041.88361	947.3528 **
Int. TaxTb	10	8.50762	0.85076	0.7736 ns
Resíduo-b	36	39.59223	1.09978	
Total	71	2186.41611		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 ≤ p < .05)

ns não significativo (p ≥ .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.7544	>0.050
5	15	2.9013	2.1604	0.1137
2	36	5.2491	947.3528	<0.001
10	36	0.3053	0.7736	>0.050

DMSB = 1.34071

DMS-a = 1.84728

DMS-b = 0.73924

DMS para tratamentos = 2.4743 DMS para profundidade = 1.8108

CV%-a = 8.60847 CV%-b = 6.47545

### f) Nitrogênio associado aos minerais (N < 53 µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.00970	0.00323	0.1729 ns
Trat-a (Ta)	5	0.13816	0.02763	1.4768 ns
Resíduo-a	15	0.28065	0.01871	
Parcelas	23	0.42852		
Trat-b (Tb)	2	4.75261	2.37630	371.3635 **
Int. TaxTb	10	0.08714	0.00871	1.3618 ns
Resíduo-b	36	0.23036	0.00640	
Total	71	5.49862		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 ≤ p < .05)

ns não significativo (p ≥ .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.1729	>0.050
5	15	2.9013	1.4768	0.2551
2	36	5.2491	371.3635	<0.001
10	36	2.1063	1.3618	0.237

DMSB = 0.13154

DMS-a = 0.18124

DMS-b = 0.05639

DMS para tratamentos = 0.2179 DMS para profundidade = 0.1381

CV%-a = 12.02337 CV%-b = 7.03133

## Apêndice 4. Continuação.

g) Relação C/N (COT/NT)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	7.75100	2.58367	4.4210 *
Trat-a (Ta)	5	10.10086	2.02017	3.4568 *
Resíduo-a	15	8.76618	0.58441	
Parcelas	23	26.61804		
Trat-b (Tb)	2	130.13585	65.06792	254.0326 **
Int. TaxTb	10	7.89972	0.78997	3.0841 **
Resíduo-b	36	9.22104	0.25614	
Total	71	173.87464		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	4.421	0.0204
5	15	2.9013	3.4568	0.0282
2	36	5.2491	254.0326	<0.001
10	36	2.86	3.0841	0.0063

DMSB = 0.73516

DMS-a = 1.01294

DMS-b = 0.35676

DMS para tratamentos = 1.2788 DMS para profundidade = 0.8739

CV%-a = 5.35076 CV%-b = 3.54237

h) Relação C/N ( $C > 53\mu\text{m}/N > 53\mu\text{m}$ )

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	14.92845	4.97615	0.6995 ns
Trat-a (Ta)	5	51.43928	10.28786	1.4463 ns
Resíduo-a	15	106.70046	7.11336	
Parcelas	23	173.06819		
Trat-b (Tb)	2	194.53103	97.26552	15.8536 **
Int. TaxTb	10	26.34267	2.63427	0.4294 ns
Resíduo-b	36	220.86860	6.13524	
Total	71	614.81049		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.6995	>0.050
5	15	2.9013	1.4463	0.2647
2	36	5.2491	15.8536	<0.001
10	36	0.3053	0.4294	>0.050

DMSB = 2.56485

DMS-a = 3.53394

DMS-b = 1.74602

DMS para tratamentos = 5.3227 DMS para profundidade = 4.2769

CV%-a = 16.78203 CV%-b = 15.58557

## Apêndice 4. Continuação.

i) Relação C/N (C>53µm/N>53µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	7.70836	2.56945	2.3749 ns
Trat-a (Ta)	5	11.09981	2.21996	2.0519 ns
Resíduo-a	15	16.22870	1.08191	
Parcelas	23	35.03687		
Trat-b (Tb)	2	162.14600	81.07300	157.3497 **
Int. TaxTb	10	14.23050	1.42305	2.7619 *
Resíduo-b	36	18.54867	0.51524	
Total	71	229.96205		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 ≤ p < .05)

ns não significativo (p ≥ .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	2.3749	0.111
5	15	2.9013	2.0519	0.129
2	36	5.2491	157.3497	<0.001
10	36	2.1063	2.7619	0.0123

DMSB = 1.00028

DMS-a = 1.37822

DMS-b = 0.50599

DMS para tratamentos = 1.7726 DMS para profundidade = 1.2394

CV%-a = 7.43213 CV%-b = 5.12887

j) Proporção C>53µm/carbono orgânico total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	288.70702	96.23567	11.2450 **
Trat-a (Ta)	5	79.45651	15.89130	1.8569 ns
Resíduo-a	15	128.37146	8.55810	
Parcelas	23	496.53498		
Trat-b (Tb)	2	7480.35603	3740.17802	455.7251 **
Int. TaxTb	10	143.18069	14.31807	1.7446 ns
Resíduo-b	36	295.45530	8.20709	
Total	71	8415.52700		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 ≤ p < .05)

ns não significativo (p ≥ .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	11.245	<0.001
5	15	2.9013	1.8569	0.1621
2	36	5.2491	455.7251	<0.001
10	36	2.1063	1.7446	0.1081

DMSB = 2.81328

DMS-a = 3.87624

DMS-b = 2.01942

DMS para tratamentos = 6.0415 DMS para linhas = 4.9466

CV%-a = 14.76434 CV%-b = 14.45840

## Apêndice 4. Continuação.

### l) Proporção C<53µm/carbono orgânico total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	288.70694	96.23565	11.2450 **
Trat-a (Ta)	5	79.45640	15.89128	1.8569 ns
Resíduo-a	15	128.37148	8.55810	
Parcelas	23	496.53482		
Trat-b (Tb)	2	7480.35627	3740.17813	455.7253 **
Int. TaxTb	10	143.18073	14.31807	1.7446 ns
Resíduo-b	36	295.45518	8.20709	
Total	71	8415.52700		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	11.245	<0.001
5	15	2.9013	1.8569	0.1621
2	36	5.2491	455.7253	<0.001
10	36	2.1063	1.7446	0.1081

DMSB = 2.81328

DMS-a = 3.87624

DMS-b = 2.01942

DMS para tratamentos = 6.0415 DMS para profundidade = 4.9466

CV%-a = 3.64830

CV%-b = 3.57270

### m) Proporção N>53µm/nitrogênio total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	267.48486	89.16162	6.3949 **
Trat-a (Ta)	5	65.79091	13.15818	0.9437 ns
Resíduo-a	15	209.13773	13.94252	
Parcelas	23	542.41350		
Trat-b (Tb)	2	6214.63245	3107.31623	341.9850 **
Int. TaxTb	10	103.63753	10.36375	1.1406 ns
Resíduo-b	36	327.10027	9.08612	
Total	71	7187.78375		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	6.3949	0.0053
5	15	0.156	0.9437	>0.050
2	36	5.2491	341.985	<0.001
10	36	2.1063	1.1406	0.3609

DMSB = 3.59083

DMS-a = 4.94758

DMS-b = 2.12482

DMS para tratamentos = 6.8688 DMS para profundidade = 5.2047

CV%-a = 20.62510

CV%-b = 16.65002



#### Apêndice 4. Continuação.

n) Proporção N<53µm/nitrogênio total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	267.48466	89.16155	6.3949 **
Trat-a (Ta)	5	65.79093	13.15819	0.9437 ns
Resíduo-a	15	209.13767	13.94251	
Parcelas	23	542.41325		
Trat-b (Tb)	2	6214.63374	3107.31687	341.9852 **
Int. TaxTb	10	103.63746	10.36375	1.1406 ns
Resíduo-b	36	327.10010	9.08611	
Total	71	7187.78455		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	6.3949	0.0053
5	15	0.156	0.9437	>0.050
2	36	5.2491	341.9852	<0.001
10	36	2.1063	1.1406	0.3609

DMSB = 3.59083

DMS-a = 4.94758

DMS-b = 2.12482

DMS para tratamentos = 6.8688      DMS para profundidade = 5.2047

CV%-a = 4.55940      CV%-b = 3.68067

**Apêndice 5.** Análise de variância dos estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e C e N > e <53µm, relação C/N das frações físicas da matéria orgânica e proporção de C e N nas frações físicas, camada de 0-20 cm (acumulada) sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico, Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

**a) Carbono orgânico total acumulado**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	111.44339	37.14780	6.0475 **
Tratamentos	5	90.33701	18.06740	2.9413 *
Resíduo	15	92.13957	6.14264	
Total	23	293.91997		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	6.0475	0.0066
5	15	2.9013	2.9413	0.0479

DMSB =	4.12821
DMS =	5.68801
CV% =	4.14112

**b) Nitrogênio total acumulado**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.11282	0.03761	0.6533 ns
Tratamentos	5	1.01799	0.20360	3.5372 *
Resíduo	15	0.86338	0.05756	
Total	23	1.99418		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.6533	>0.050
5	15	2.9013	3.5372	0.026

DMSB =	0.39961
DMS =	0.55060
CV% =	5.75901

**c) Carbono particulado acumulado (C>53µm)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	50.50066	16.83355	16.7749 **
Tratamentos	5	13.95549	2.79110	2.7814 ns
Resíduo	15	15.05249	1.00350	
Total	23	79.50863		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	16.7749	<0.001
5	15	2.9013	2.7814	0.0568

DMSB =	1.66857
DMS =	2.29901
CV% =	8.89336

**d) Nitrogênio particulado acumulado (N>53µm)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.17591	0.05864	7.0332 **
Tratamentos	5	0.15119	0.03024	3.6270 *
Resíduo	15	0.12505	0.00834	
Total	23	0.45215		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	7.0332	0.0035
5	15	2.9013	3.627	0.0238

DMSB =	0.15209
DMS =	0.20955
CV% =	12.12734

## Apêndice 5. Continuação.

### e) Carbono associado aos minerais acumulado (C<53µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	13.19725	4.39908	0.7544 ns
Tratamentos	5	62.98545	12.59709	2.1604 ns
Resíduo	15	87.46440	5.83096	
Total	23	163.64711		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.7544	>0.050
5	15	2.9013	2.1604	0.1137

DMSB = 4.02212  
 DMS = 5.54182  
 CV% = 4.97010

### g) Relação C/N acumulado (COT/NT)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	2.68964	0.89655	4.7617 *
Tratamentos	5	3.73266	0.74653	3.9650 *
Resíduo	15	2.82423	0.18828	
Total	23	9.24653		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	4.7617	0.0159
5	15	2.9013	3.965	0.0172

DMSB = 0.72275  
 DMS = 0.99583  
 CV% = 3.01557

### f) Nitrogênio associado aos minerais acumulado (N<53µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.02911	0.00970	0.1729 ns
Tratamentos	5	0.41448	0.08290	1.4768 ns
Resíduo	15	0.84196	0.05613	
Total	23	1.28555		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	0.07	0.1729	>0.050
5	15	2.9013	1.4768	0.2551

DMSB = 0.39463  
 DMS = 0.54373  
 CV% = 6.94170

### h) Relação C/N acumulado (C>53µm/N>53µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	4.17556	1.39185	1.5536 ns
Tratamentos	5	9.26210	1.85242	2.0678 ns
Resíduo	15	13.43794	0.89586	
Total	23	26.87560		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	1.5536	0.2419
5	15	2.9013	2.0678	0.1266

DMSB = 1.57654  
 DMS = 2.17222  
 CV% = 6.29255

## Apêndice 5. Continuação

### i) Relação C/N acumulado (C<53µm/N<53µm)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	2.79063	0.93021	2.4128 ns
Tratamentos	5	3.97907	0.79581	2.0642 ns
Resíduo	15	5.78292	0.38553	
Total	23	12.55262		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	2.4128	0.1072
5	15	2.9013	2.0642	0.1271

DMSB = 1.03422  
DMS = 1.42499  
CV% = 4.35265

### l) Proporção C<53µm/carbono orgânico total acumulado

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	76.31533	25.43844	9.3470 **
Tratamentos	5	26.06703	5.21341	1.9156 ns
Resíduo	15	40.82333	2.72156	
Total	23	143.20569		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	9.347	<0.001
5	15	2.9013	1.9156	0.1513

DMSB = 2.74785  
DMS = 3.78609  
CV% = 2.03070

### j) Proporção C>53µm/carbono orgânico total acumulado

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	76.31539	25.43846	9.3471 **
Tratamentos	5	26.06712	5.21342	1.9156 ns
Resíduo	15	40.82322	2.72155	
Total	23	143.20573		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	9.3471	<0.001
5	15	2.9013	1.9156	0.1513

DMSB = 2.74785  
DMS = 3.78609  
CV% = 8.79321

### m) Proporção N>53µm/nitrogênio total acumulado

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	76.38424	25.46141	5.4924 **
Tratamentos	5	27.02024	5.40405	1.1657 ns
Resíduo	15	69.53669	4.63578	
Total	23	172.94117		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	5.4924	0.0095
5	15	2.9013	1.1657	0.3706

DMSB = 3.58629  
DMS = 4.94133  
CV% = 11.94897

## Apêndice 5. Continuação

### n) Proporção N<53µm/nitrogênio total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	76.38437	25.46146	5.4924 **
Tratamentos	5	27.02018	5.40404	1.1657 ns
Resíduo	15	69.53690	4.63579	
Total	23	172.94146		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	5.4924	0.0095
5	15	2.9013	1.1657	0.3706

DMSB = 3.58630

DMS = 4.94134

CV% = 2.62633

**Apêndice 6** Análise de variância dos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total e do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, relação C/N da biomassa microbiana, quociente microbiano, respiração basal do solo, quociente metabólico , potencial de mineralização de carbono , nitrogênio mineral e mineralização líquida de nitrogênio, na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

a) Carbono orgânico total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	114.42456	38.14152	4.6756 *
Trat-a (Ta)	5	81.52097	16.30419	1.9986 ns
Resíduo-a	15	122.36478	8.15765	
Parcelas	23	318.31032		
Trat-b (Tb)	1	1.49813	1.49813	0.2088 ns
Int. TaxTb	5	16.52742	3.30548	0.4607 ns
Resíduo-b	18	129.15067	7.17504	
Total	47	465.48654		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	4.6756	0.0169
5	15	2.9013	1.9986	0.1372
1	18	0.001	0.208798	>0.050
5	18	0.1573	0.4607	>0.050

DMSB = 3.36397

DMS-a = 4.63501

DMS-b = 1.62391

DMS para tratamentos = 5.9287 DMS para profundidade = 3.9778

CV%-a = 7.99998 CV%-b = 7.50272

b) Nitrogênio total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.62182	0.20727	3.1843 ns
Trat-a (Ta)	5	0.97467	0.19493	2.9948 *
Resíduo-a	15	0.97637	0.06509	
Parcelas	23	2.57285		
Trat-b (Tb)	1	0.09053	0.09053	1.7067 ns
Int. TaxTb	5	0.13444	0.02689	0.5069 ns
Resíduo-b	18	0.95477	0.05304	
Total	47	3.75259		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	3.1843	0.0545
5	15	2.9013	2.9948	0.0453
1	18	4.4139	1.7067	0.2077
5	18	0.1573	0.5069	>0.050

DMSB = 0.30049

DMS-a = 0.41403

DMS-b = 0.13962

DMS para tratamentos = 0.5204 DMS para profundidade = 0.3420

CV%-a = 8.98115 CV%-b = 8.10744

## Apêndice 6. Continuação.

### c) Carbono da biomassa microbiana

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	27326.87052	9108.95684	1.8642 ns
Trat-a (Ta)	5	11424.08562	2284.81712	0.4676 ns
Resíduo-a	15	73292.10014	4886.14001	
Parcelas	23	112043.05627		
Trat-b (Tb)	1	467789.69549	467789.69549	207.6121 **
Int. TaxTb	5	18727.87704	3745.57541	1.6623 ns
Resíduo-b	18	40557.44371	2253.19132	
Total	47	639118.07251		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	1.8642	0.179
5	15	0.156	0.4676	>0.050
1	18	8.2854	207.6121	<0.001
5	18	2.7729	1.6623	0.1947

DMSB = 82.32893

DMS-a = 113.43590

DMS-b = 28.77729

DMS para tratamentos = 129.3848 DMS para profundidade = 70.4897

CV%-a = 15.09994 CV%-b = 10.25395

### d) Nitrogênio da biomassa microbiana

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	6867.72570	2289.24190	7.6452 **
Trat-a (Ta)	5	8088.41049	1617.68210	5.4024 **
Resíduo-a	15	4491.54431	299.43629	
Parcelas	23	19447.68050		
Trat-b (Tb)	1	34971.69247	34971.69247	84.2500 **
Int. TaxTb	5	5714.46736	1142.89347	2.7533 ns
Resíduo-b	18	7471.70014	415.09445	
Total	47	67605.54047		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	7.6452	0.0025
5	15	4.5556	5.4024	0.0049
1	18	8.2854	84.25	<0.001
5	18	2.7729	2.7533	0.0512

DMSB = 20.38083

DMS-a = 28.08148

DMS-b = 12.35163

DMS para tratamentos = 40.3976 DMS para profundidade = 30.2552

CV%-a = 16.09398 CV%-b = 18.94894

## Apêndice 6. Continuação

### e) Relação C/N da biomassa microbiana

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	20.45124	6.81708	4.6367 *
Trat-a (Ta)	5	19.53190	3.90638	2.6569 ns
Resíduo-a	15	22.05384	1.47026	
Parcelas	23	62.03697		
Trat-b (Tb)	1	9.45180	9.45180	5.1066 *
Int. TaxTb	5	30.07341	6.01468	3.2496 *
Resíduo-b	18	33.31593	1.85088	
Total	47	134.87811		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	4.6367	0.0174
5	15	2.9013	2.6569	0.0651
1	18	4.4139	5.1066	0.0365
5	18	2.7729	3.2496	0.029

DMSB = 1.42812

DMS-a = 1.96772

DMS-b = 0.82478

DMS para tratamentos = 2.7542 DMS para profundidade = 2.0203

CV%-a = 25.63857 CV%-b = 28.76650

### f) Quociente microbiano

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.73716	0.24572	5.2588 *
Trat-a (Ta)	5	0.12894	0.02579	0.5519 ns
Resíduo-a	15	0.70088	0.04673	
Parcelas	23	1.56698		
Trat-b (Tb)	1	4.01441	4.01441	183.4203 **
Int. TaxTb	5	0.10570	0.02114	0.9659 ns
Resíduo-b	18	0.39396	0.02189	
Total	47	6.08104		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	5.2588	0.0111
5	15	0.156	0.5519	>0.050
1	18	8.2854	183.4203	<0.001
5	18	0.1573	0.9659	>0.050

DMSB = 0.25459

DMS-a = 0.35079

DMS-b = 0.08969

DMS para tratamentos = 0.4011 DMS para profundidade = 0.2197

CV%-a = 16.55255 CV%-b = 11.32858



## Apêndice 6. Continuação

### g) Respiração Basal do solo

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	0.35516	0.11839	7.2485 **
Trat-a (Ta)	5	0.26785	0.05357	3.2799 *
Resíduo-a	15	0.24499	0.01633	
Parcelas	23	0.86800		
Trat-b (Tb)	1	5.88802	5.88802	251.7815 **
Int. TaxTb	5	0.13966	0.02793	1.1944 ns
Resíduo-b	18	0.42094	0.02339	
Total	47	7.31662		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	7.2485	0.0031
5	15	2.9013	3.2799	0.0337
1	18	8.2854	251.7815	<0.001
5	18	2.7729	1.1944	0.351

DMSB = 0.15052

DMS-a = 0.20739

DMS-b = 0.09271

DMS para tratamentos = 0.3012 DMS para profundidade = 0.2271

CV%-a = 10.89473 CV%-b = 13.03651

### h) Quociente metabólico

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	4.82637	1.60879	5.5664 **
Trat-a (Ta)	5	0.69747	0.13949	0.4827 ns
Resíduo-a	15	4.33525	0.28902	
Parcelas	23	9.85910		
Trat-b (Tb)	1	2.23909	2.23909	7.8330 *
Int. TaxTb	5	2.13027	0.42605	1.4905 ns
Resíduo-b	18	5.14535	0.28585	
Total	47	19.37381		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	5.417	5.5664	0.009
5	15	0.156	0.4827	>0.050
1	18	4.4139	7.833	0.0119
5	18	2.7729	1.4905	0.2419

DMSB = 0.63319

DMS-a = 0.87243

DMS-b = 0.32413

DMS para tratamentos = 1.1459 DMS para profundidade = 0.7940

CV%-a = 20.85535 CV%-b = 20.74089

## Apêndice 6. Continuação

### i) Potencial de Mineralização de carbono

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	8312.77805	2770.92602	1.2283 ns
Trat-a (Ta)	5	23220.32992	4644.06598	2.0587 ns
Resíduo-a	15	33838.11020	2255.87401	
Parcelas	23	65371.21818		
Trat-b (Tb)	1	1192610.79998	1192610.79998	225.4010 **
Int. TaxTb	5	25548.42707	5109.68541	0.9657 ns
Resíduo-b	18	95239.13084	5291.06282	
Total	47	1378769.57607		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	1.2283	0.334
5	15	2.9013	2.0587	0.128
1	18	8.2854	225.401	<0.001
5	18	0.1573	0.9657	>0.050

DMSB = 55.94058

DMS-a = 77.07706

DMS-b = 44.09835

DMS para tratamentos = 132.0714 DMS para profundidade = 108.0184

CV%-a = 12.16230

CV%-b = 18.62643

### j) Nitrogênio Mineral

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	209.02706	69.67569	3.2054 ns
Trat-a (Ta)	5	3597.33619	719.46724	33.0990 **
Resíduo-a	15	326.05237	21.73682	
Parcelas	23	4132.41562		
Trat-b (Tb)	1	2087.82733	2087.82733	40.5607 **
Int. TaxTb	5	4475.73422	895.14684	17.3902 **
Resíduo-b	18	926.53548	51.47419	
Total	47	11622.51266		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	3.2054	0.0535
5	15	4.5556	33.099	<0.001
1	18	8.2854	40.5607	<0.001
5	18	4.2479	17.3902	<0.001

DMSB = 5.49120

DMS-a = 7.56599

DMS-b = 4.34956

DMS para tratamentos = 13.0080 DMS para profundidade = 10.6542

CV%-a = 15.24412

CV%-b = 23.45844

## Apêndice 6. Continuação

### 1) Mineralização Líquida de nitrogênio

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	11974.80089	3991.60030	1.8609 ns
Trat-a (Ta)	5	86737.81726	17347.56345	8.0876 **
Resíduo-a	15	32174.42092	2144.96139	
Parcelas	23	130887.03906		
Trat-b (Tb)	1	449282.82057	449282.82057	184.2092 **
Int. TaxTb	5	102053.64484	20410.72897	8.3685 **
Resíduo-b	18	43901.67596	2438.98200	
Total	47	726125.18043		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	15	3.2874	1.8609	0.1796
5	15	4.5556	8.0876	<0.001
1	18	8.2854	184.2092	<0.001
5	18	4.2479	8.3685	<0.001

DMSB = 54.54805

DMS-a = 75.15838

DMS-b = 29.94023

DMS para tratamentos = 102.3210      DMS para profundidade = 73.3383

CV%-a = 32.53450      CV%-b = 34.69274

**Apêndice 7.** Sumário da análise de componentes principais (ACP) da primavera de 2010 entre carbono orgânico total, nitrogênio total, umidade, densidade do solo e atributos microbiológicos, na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Eixos	1	2	3	4	total
Eigen values	0,458	0,254	0,174	0,102	1,000
Cumulative percentage variance of species data	45,8	71,3	88,7	98,8	

**Apêndice 8.** Sumário da análise de componentes principais (ACP) do outono de 2011 entre carbono orgânico total, nitrogênio total, umidade, densidade do solo e atributos microbiológicos, na profundidade de 0-5 cm, em sistemas de culturas em rotação sob plantio direto há 21 anos em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR.

Eixos	1	2	3	4	total
Eigen values	0,49	0,21	0,19	0,08	1
Cumulative percentage variance of species data	49,4	70,5	89,1	97	

**Apêndice 9.** Difratogramas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico. Fundação ABC, Ponta Grossa/PR. Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Hl: halita; Qz: quartzo; Gt: Goethita; Hm: hematita

